

Раздел 4. Эволюция телефонных сетей. Базовые понятия

Термин «телефония» давно используется в профессиональном лексиконе связистов. ИТУ-Т определяет телефонию как вид электросвязи, предназначенный, прежде всего, для обмена информацией в форме речи. Телефонная сеть устанавливает соединения, позволяющие передавать практически любую информацию в полосе пропускания канала тональной частоты (ТЧ). Эта полоса определена в диапазоне от 0,3 до 3,4 кГц.

ИТУ-Т предусматривает возможность использования так называемой широкополосной телефонии, когда речь передается в полосе пропускания, которая превышает диапазон канала ТЧ (например, от 0,1 до 7,0 кГц). Такая услуга предоставляется, в частности, цифровой сетью интегрального обслуживания ISDN (Integrated Services Digital Network).

ТфОП – телефонная сеть *общего пользования*. Последние два слова, выделенные курсивом, подчеркивают тот факт, что к сети может подключиться любой абонент, соблюдающий правила, которые оговариваются стандартным договором с Оператором (эксплуатационной компанией).

Такой принцип подключения к сети иногда называют недискриминационным. Существует ряд телефонных сетей, предназначенных для обслуживания ограниченных групп пользователей. С технической точки зрения принципы создания и развития этих сетей и ТфОП очень схожи.

ТфОП стала первой сетью, которая обеспечила диалог (телефонный разговор) в реальном времени. По эффективности коммуникаций телефонный разговор уступает только дискуссии у «классной доски».

Другая важная особенность ТфОП заключается в том, что она приносит Оператору связи весьма существенные доходы. Пока их величина превышает доходы от всех остальных видов связи. Говоря о доходах ТфОП, подразумевают трафик речи, который создается терминалами фиксированной и мобильной связи.

Понимал ли Александр Белл, какая судьба уготована его изобретению? До нас не дошли достоверные сведения о его гипотезах, касающихся возможных путей развития телефонной связи. Правда, задолго до изобретения телефона твердую уверенность в возможности общения людей, невзирая на большие расстояния, выразил Леонардо да Винчи. Пророчество гения сбылось в XX веке.

Краткий исторический экскурс

Дату, когда началось формирование ТфОП, установить не так просто. Известно, что в 1876 году Александр Грэхем Белл получил патент на изобретение электромагнитного телефона. Вскоре появились первые телефонные станции. Уже в 1878 году в городе Нью Хейвен (США) открылась первая в мире телефонная станция.

В России на ряде заводов Уфимской губернии телефонные станции для частного применения были установлены в 1880 году. Правда, совокупность подобных станций вряд ли можно рассматривать как сеть.

Первые в России городские телефонные станции общего пользования появились в 1882 году в Санкт-Петербурге, Москве и Одессе, а в 1885 году - в Киеве. Их можно считать элементами будущей ТфОП России. Началось формирование городских телефонных сетей (ГТС). Это означает, что были созданы важные компоненты ТфОП, но отсутствие возможности междугородной связи (и, тем более, международной) не позволяет говорить о рождении ТфОП.

31 декабря 1898 года состоялось официальное открытие междугородной линии телефонной связи между Санкт-Петербургом и Москвой - самой длинной в то время в Европе. Эту дату можно считать началом построения российской ТфОП. Постепенно всем абонентам ГТС стала доступна междугородная телефонная связь. Несколько позже такая возможность появилась у абонентов сельских телефонных сетей (СТС). Эти сети стали создаваться позже, чем были построены первые линии междугородной связи.

В качестве даты рождения международной связи чаще других упоминается 25 декабря 1900 года. В этот день было установлено первое соединение из города Ки Уэст (штат Флорида, США) в столицу Кубы. Расстояние между этими городами было меньше, чем длина линии между Санкт-Петербургом и Москвой, введенной в эксплуатацию на два года раньше. Формально в России первая международная линия начала свою работу в 1927 году между Москвой и Варшавой. Правда, связь столицы Российской империи с Гельсингфорсом (ныне столица Финляндии - Хельсинки) была введена в коммерческую эксплуатацию еще в мае 1917 года.

За время более чем столетнего существования ТфОП произошли радикальные изменения в технике телефонной связи, заметно увеличилось количество обслуживаемых абонентов, началось использование ресурсов сети для предоставления обслуживания других видов (например, для передачи факсимильных сообщений и обмена данными). Коммутационную станцию любого типа, как и большинство сложных систем, можно представить в виде двух взаимосвязанных блоков: управляющего и управляемого устройств. История развития устройств этих двух видов очень интересна.

Первые коммутационные станции предусматривали ручное управление установлением и завершением соединений. В этих станциях функции управления выполнял оператор. Он принимал на слух информацию о номере или ином идентификационном признаке вызываемого абонента и определял совокупность операций, позволяющих оптимально обслужить вызов. Логические функции выполнял человеческий мозг - самое совершенное устройство управления с точки зрения интеллектуальных возможностей. Не случайно в ряде самых современных систем телефонной связи все еще сохраняется ручное обслуживание.

По мере развития ТфОП проявился ряд отрицательных свойств ручного способа установления соединений. Переход к автоматизации ТфОП был обусловлен, по крайней мере, двумя факторами. Во-первых, к работе на телефонных коммутаторах пришлось бы привлечь слишком много людей. Во-вторых, человек не может совершать операции так же быстро, как автоматическое устройство. Иными словами, скорость установления соединения перестала удовлетворять требованиям абонентов ТфОП.

Совершенствование устройств управления было тесно связано с появлением новых поколений автоматических телефонных станций (АТС) электромеханического типа. Для каждого такого поколения (машинные, декадно-шаговые и координатные АТС) были разработаны свои устройства управления. Идея применения программного управления родилась в тот период времени, когда дальнейшее совершенствование координатных АТС оказалось нецелесообразным.

Практически в это же самое время основные этапы развития управляющих и управляемых устройств перестали совпадать. Устройства управления, следуя логике развития вычислительной техники, прошли путь, который можно представить такой последовательностью: централизованные, децентрализованные и распределенные.

Классифицировать управляемые устройства лучше всего по способу построения коммутационного поля. Первым широко используемым коммутационным полем, по всей видимости, стала доска Гилеланда. Она обеспечивала однопроводную коммутацию. Для декадно-шаговых АТС были разработаны искатели. Они делились на два типа: шаговые и декадно-шаговые. В этих искателях управляющее и управляемое устройства были объединены в единый прибор.

Следующее поколение АТС - координатные станции строилось на соединителях. Каждый координатный соединитель можно рассматривать как матрицу с m входами и n выходами.

В координатных АТС управляющие (регистры и маркеры) и управляемые (соединители) устройства были конструктивно отделены друг от друга. Идея построения

управляемого устройства на матричных принципах была использована и в следующем поколении АТС - квазиэлектронных станциях. Каждый коммутационный элемент подобного устройства (геркон или гезакон) представлял собой миниатюрный стеклянный баллон, внутри которого были помещены контактные пружины. Такое решение существенно улучшило качество цепи, образованной при замыкании контактов геркона или гезакона.

Цифровая техника, реализованная ранее в системах передачи, привлекла внимание специалистов в области коммутации. Последний этап развития технологии коммутации каналов связан исключительно с цифровыми АТС. Теоретической базой для цифровых методов передачи и коммутации стала теорема Котельникова.

Цифровизация ТфОП стала важной вехой в развитии всей системы электросвязи. Она позволила решить многие эксплуатационные проблемы, а также ввести ряд новых услуг, в которых были заинтересованы абоненты ТфОП.

Сначала коммутационные станции местных телефонных сетей связывались между собой физическими цепями, организуемыми в воздушных или кабельных линиях связи. Затем появились аналоговые системы передачи.

Тогда стандартными транспортными ресурсами для электромеханических АТС стали каналы ТЧ. Они работали по физическим цепям, радиорелейным линиям и системам спутниковой связи.

Переход к цифровым системам передачи и коммутации стимулировал разработку нового стандарта для канала связи. Им стал основной цифровой канал (ОЦК) со скоростью передачи 64 кбит/с. Для телефонной связи он может считаться эквивалентом канала ТЧ. Помимо ОЦК важным для ТфОП стандартом стал цифровой тракт со скоростью передачи 2048 кбит/с. Он хорошо известен по обозначению Е1. Характеристики тракта Е1 определяют параметры интерфейса цифровой АТС для взаимодействия с другими коммутационными станциями.

Цифровые системы передачи прошли два этапа развития. Сначала появились системы передачи плезиохронной иерархии. Их сменили системы передачи синхронной иерархии. Эти системы предназначены для работы по кабелю с оптическими волокнами (ОВ) или по мощным радиорелейным линиям.

Задача организации цифровых каналов для связи коммутационных станций входит в перечень функций транспортной сети. Эта сеть называется первичной.

Основные термины

Большинство объяснений рассматриваемых ниже терминов базируется на трех источниках:

словарь основных терминов и определений из руководящих документов по построению российской телекоммуникационной системы;

рекомендации ИТУ и стандарты ETSI;

отечественная и зарубежная научно-техническая литература, прямо или косвенно связанная с терминологическими вопросами.

Для введения базовых терминов целесообразно рассмотреть модель российской ТфОП, представленную на рис.4.1. В ее состав входит ГТС, структура которой типична для крупных городов, и СТС.

Модель ГТС состоит из двух узловых районов. Номер узлового района указан в качестве первой цифры всех установленных коммутационных станций и подключаемых к ним телефонных аппаратов (ТА).

В состав каждого узлового района входят узлы исходящего (УИС) и входящего (УВС) сообщения. Если коммутационное оборудование используется в качестве УИС и УВС, то оно называется узлом исходящего и входящего сообщения (УИВС).

В левой части модели показана всего одна районная АТС (РАТС). Ей присвоен двухзначный номер «15». Первая цифра идентифицирует номер узлового района, а вторая - порядковый номер коммутационной станции в этом районе.

Терминалы абонентов подключены к пятой РАТС первого узлового района тремя способами. Первый из терминалов (ТА1501) соединяется с РАТС индивидуальной абонентской линией (АЛ). Цифра «0» в третьей позиции означает отсутствие промежуточных устройств коммутации между терминалом и РАТС.

Второй терминал (ТА1542) включен в четвертый концентратор (К). Он связан с РАТС15 пучком соединительных линий (СЛ). В том случае, когда соединение по СЛ устанавливается только в одну сторону, соответствующая линия на всех рисунках снабжается стрелкой. Третий терминал (ТА1573) включен в учрежденческую АТС (УАТС), которой присвоен седьмой номер среди аналогичных устройств коммутации, расположенных в зоне обслуживания РАТС15.

Для РАТС15 показаны также два варианта выхода к узлу специальных служб (УСС). Он обеспечивает подключение к экстренным и информационно-справочным службам, которые организованы в городе. УСС анализирует номер, набранный абонентом, и устанавливает соединение с соответствующим центром обслуживания вызовов (ЦОВ).

Для второго узлового района показаны принципы связи РАТС26 с автоматической междугородной телефонной станцией (АМТС). Исходящее междугородное соединение устанавливается по пучку заказно-соединительных линий (ЗСЛ). Для входящей связи от АМТС создается узел входящего междугородного сообщения (УВСМ). Он связан с АМТС и РАТС пучком соединительных линий междугородной связи (СЛМ). Чтобы не усложнять модель ТфОП на [рис.4.1](#) не показаны ЗСЛ и СЛМ для РАТС15, а также СЛ между УСС и РАТС26.

Правый нижний фрагмент иллюстрирует общие принципы построения СТС. В каждом сельском административном районе устанавливается центральная станция (ЦС) или узел сельско-пригородной связи (УСП). Их различие заключается в том, что на ЦС возложены также функции РАТС районного центра.

Для девятой ЦС показаны принципы включения оконечных станций (ОС). Различают радиальную и радиально-узловую схему построения СТС. В частности, третья ОС включена по радиальной схеме.

Цифра «0» во второй позиции ее номера указывает на отсутствие узловой станции (УС) между ЦС и ОС. Первая и вторая ОС включены по радиально-узловой схеме. Они связаны с УС, которая обеспечивает установление соединений между абонентами разных ОС, а также выход к ЦС.

Приведенные термины и их аббревиатуры содержатся в словарях, которые входят в состав ряда руководящих документов по построению российской телекоммуникационной системы. Эти документы не пересматривались в течение десяти и более лет. Кроме того, в процессе их составления не в полной мере учитывался зарубежный опыт разработки современной терминологии.

Цифровизация ТфОП потребовала пересмотра ряда принципов построения ГТС и СТС. При разработке этих принципов был введен ряд новых терминов. Они стали широко применяться в отечественной технической литературе, посвященной, в первую очередь, вопросам построения цифровых ГТС. Вместо аббревиатуры РАТС чаще стало встречаться сокращение ОПС - опорная станция. Был предложен термин «Транзитная станция» (ТС), уже устоявшийся в англо-язычной технической литературе. Цифровое коммутационное оборудование позволяет строить комбинированные станции, то есть ТС и ОПС. Они получили название «Опорно-транзитные станции» (ОПТС). Сближение терминов, используемых в отечественной и в зарубежной литературе, позволяет решить ряд серьезных проблем, обеспечить лучшее взаимопонимание между специалистами.

В трех столбцах на [рис.4.2](#) приведены основные аббревиатуры, часто используемые в технической литературе по телефонии. В последнем столбце содержатся

примеры терминов, которые можно рекомендовать для дальнейшего применения российскими специалистами.

Модель, представленная на [рис.4.3](#), иллюстрирует принципы использования ресурсов единой транспортной (первичной) сети для организации телефонной связи и арендованных каналов. Это означает, что транспортные ресурсы предназначены для двух функционально различных коммутируемых сетей. Иногда коммутируемые сети называют вторичными.

[Рис.4.3](#) состоит из двух фрагментов. Левый фрагмент иллюстрирует принципы построения гипотетической ГТС, состоящей из пяти РАТС. Правый фрагмент показывает идею построения сети арендованных каналов, образуемой четырьмя узлами. Нижние части левого и правого фрагментов идентичны, так как отображают общую транспортную сеть, которая состоит из элементов двух основных типов - сетевых узлов (СУ) и объединяющих их линий передачи.

Исторически сложилось так, что оборудование СУ располагается в тех же зданиях, где устанавливается коммутационное оборудование ТфОП. По этой причине число СУ в рассматриваемой модели равно количеству РАТС. Пунктирными линиями для СУ2 показаны элементы двух коммутируемых сетей, которые располагаются в одном и том же помещении.

На [рис.4.3](#) показана кольцевая структура транспортной сети, чаще других реализуемая операторами ТфОП. Аппаратно-программные средства современных СУ способны формировать коммутируемые сети любой структуры за счет установления полупостоянных соединений. Левый фрагмент рис. показывает структуру ГТС, в которой все РАТС связаны между собой по принципу «каждая с каждой». Гипотетическая сеть арендованных каналов - правый фрагмент модели - содержит четыре узла, образующих структуру типа «звезда».

Модели, изображенные на [рис.4.1](#) и [рис. 4.3](#) позволяют ввести ряд определений, касающихся основных терминов, которые используются в современной телефонии.

Перечень терминов составлен по такой схеме. Сначала приводится термин на русском языке. В скобках указывается соответствующий термин на английском языке, если, конечно, таковой имеется. Далее предлагается определение термина, которое, при необходимости, сопровождается примечанием, что позволяет уточнить некоторые детали.

Сетевой узел (Network Node) - комплекс технических средств, обеспечивающий формирование и полупостоянную коммутацию каналов и трактов передачи, которые используются коммутируемыми сетями электросвязи.

Линия передачи (Transmission Line) - совокупность стандартных каналов и/или трактов передачи, соединяющих сетевые узлы между собой.

Транспортная сеть (Transport Network) - совокупность СУ и линий передачи, обеспечивающая коммутируемые сети каналами и/или трактами для обмена информацией.

Коммутационная станция (Switching Exchange) – совокупность аппаратно-программных средств, обеспечивающих установление соединений между терминалами пользователей.

Местная станция (Local Exchange) - коммутационная станция, обеспечивающая подключение к сети абонентских терминалов.

Транзитная станция (Transit Exchange) - коммутационная станция, предназначенная для установления соединений между другими станциями.

Комбинированная станция (Combined Local/Transit Exchange) коммутационная станция, выполняющая функции как местной, так и транзитной станций.

Коммутируемая сеть (Switched Network) - определенная совокупность коммутационных станций и каналов связи (часть ресурсов транспортной сети), которые предназначены для обмена информацией одного или более видов. Коммутируемые сети могут быть классифицированы по основному виду передаваемой информации (телефонная, передачи данных и другие) или по способу ее распределения (коммутация каналов или пакетов).

Телефонная сеть (Telephone Network) - коммутируемая сеть, которая предназначена, в основном, для установления соединений между телефонными аппаратами абонентов.

Цифровая сеть интегрального обслуживания (Integrated Services Digital Network) - сеть интегрального обслуживания, которая обеспечивает цифровые соединения через интерфейсы пользователь-сеть (UN) и сеть-сеть (NN).

Коммутация (Switching) - процесс организации соединения между двумя (или более) терминалами или между терминалом и рабочим местом центра обслуживания вызовов.

Коммутация каналов (Circuit Switching) - принцип организации связи между терминалами, основанный на том, что ресурс, необходимый для обмена информацией в обоих направлениях, закрепляется за установленным соединением на все время сеанса связи.

Ресурс остается в безраздельном распоряжении пользователей вне зависимости от того, передают ли они информацию или «молчат».

Абонент (Subscriber) - физическое или юридическое лицо, которому предоставлена возможность использования услуг электросвязи. В последнее время чаще используется термин «Пользователь» - перевод ангийского слова «User».

Оператор (Operator) - эксплуатационная компания, заключающая договор с абонентами на предоставление телекоммуникационных услуг. Оператор может сам создавать сети электросвязи или арендовать ресурсы, необходимые для поддержки телекоммуникационных услуг.

Единая сеть электросвязи Россииской Федерации

Федеральным законом «О связи» предусмотрено наличие в составе Единой сети электросвязи Российской Федерации (ЕСЭ РФ) сетей четырех видов:

- сеть связи общего пользования (ССОП);
- выделенные сети связи;
- технологические сети связи, присоединенные к сети связи общего пользования;
- сети связи специального назначения и другие сети связи для передачи информации при помощи электромагнитных систем.

Услугами сети связи общего пользования может воспользоваться любой абонент, наоудящийся на территории Российской Федерации. Естественно, он обязан соблюдать все условия, определяемые оператором сети связи общего пользования.

Если абонент отправляет телеграмму, то эти условия подразумевают составление текста с соблюдением этических норм и отсутствие сведений, передача которых запрещена российскими законами, а также своевременную оплату предоставленной услуги.

Для подключения к ТфОП абонент заключает с оператором договор, где оговариваются как условия оплаты, так и все те требования, которые должны соблюдать обе стороны.

Структура телефонной сети общего пользования Уровни иерархии в ТфОП

В любой крупной сети принято выделять иерархические уровни. Этот процесс можно рассматривать как классификацию по определенному признаку (таксону). На фронтальной грани куба, изображенного на [рис.4.4](#) , перечислены основные уровни иерархии ТфОП.

На боковой грани куба показаны два компонента (коммутируемая и транспортная сети), которые с точки зрения решаемых ими функциональных задач имеются на всех иерархических уровнях ТфОП.

Верхняя грань, при необходимости, может быть использована для введения дополнительной классификации по каким-либо другим признакам.

В качестве нижнего уровня иерархии показана сеть в помещении пользователя. Вообще говоря, ее создание и поддержка не входят в компетенцию оператора ТфОП. Такой подход можно считать оправданным в тех случаях, когда то, что названо «сетью в помещении пользователя», представляет собой телефонный аппарат или терминал любой сложности в совокупности с абонентской проводкой.

Многие современные предприятия используют УАТС, локальные вычислительные сети (ЛВС) и телекоммуникационные системы поддержки бизнес-процессов. В подобных случаях компонент «сеть в помещении пользователя» целесообразно включать в состав уровней иерархии ТфОП.

Следующий иерархический уровень - сеть доступа и достаточно упомянуть, что сеть доступа служит «связующим звеном» между двумя иерархическими уровнями. Ее задача состоит в организации связи между оборудованием пользователя и базовой сетью.

Базовая сеть на [рис.4.4](#) разделена на четыре иерархических уровня. Нижний из этих уровней соответствует местной (городской или сельской) телефонной сети. ГТС создается в границах города, а СТС - на территории сельского административного района. В ряде ГТС и СТС, в свою очередь, можно выделить два уровня иерархии. На [рис.4.4](#) они обозначены как сети межстанционной и межузловой связи.

Зоновая телефонная сеть обычно создается в границах субъекта Федерации. Есть ряд исключений, когда на территории одного субъекта Федерации создается несколько зональных сетей.

Отличительный признак зональной телефонной сети - присвоение ей уникального кода для входящей междугородной связи, обозначаемого буквами АВС.

Типичная зональная сеть состоит из нескольких местных сетей ГТС и СТС. Между собой местные сети связаны каналами внутризональной связи. Эти каналы коммутируются в АМТС или в зональном телефонном узле (ЗТУ).

На следующем уровне иерархии ТфОП расположена междугородная телефонная сеть. Она обеспечивает связь между зональными телефонными сетями. Кроме того, в задачи междугородной телефонной сети входит обеспечение доступа к международным центрам коммутации (МЦК). Эти центры представляют собой элементы верхнего уровня иерархии ТфОП - международной телефонной сети.

Местные телефонные сети

Городские телефонные сети

В конце XIX и в начале XX века все ГТС создавались за счет установки всего одной телефонной станции. Рост ряда сетей привел к необходимости установки второй, третьей и последующих телефонных станций. Тем не менее, в небольших городах часто функционирует одна АТС - рис.4.5.

Подобные сети называют нерайонированными. При использовании декадно-шаговых и координатных АТС такой способ построения ГТС считался рациональным, если максимальное количество обслуживаемых абонентов не превышало 8000. Применение цифровых коммутационных станций позволяет экономично строить нерайонированные ГТС емкостью в несколько десятков тысяч номеров. В этом случае в составе ГТС используются выносные модули АТС - концентраторы. Нерайонированная ГТС состоит из коммутационной станции и сети доступа. На рис. показаны четыре распределительных шкафа (ШР). Между каждым шкафом и АТС проложены магистральные кабели. Обычно применяются многопарные абонентские кабели. Этот фрагмент сети доступа называется магистральным участком. Обычно на магистральном участке сети доступа формируется звездообразная топология. В некоторых случаях используются линии межшкафной связи. На рис.4.5 такая линия показана между третьим и четвертым шкафами. Наличие линий межшкафной связи позволит в перспективе перейти к кольцевой структуре сети доступа. Такая топология обеспечивает высокую надежность связи концентраторов с АТС.

На рис.4.6 изображены две структуры перспективной нерайонированной ГТС, в которой установлена цифровая АТС. Здесь и далее кружки, соответствующие цифровым АТС, будут окрашены темным цветом. Фрагмент (а) иллюстрирует принципы построения транспортной сети, которая представлена в виде совокупности трех колец. Нулевой СУ располагается в здании АТС. Номера всех остальных СУ совпадают с номерами тех концентраторов, для которых они формируют транспортные ресурсы в виде стандартных цифровых трактов. Выбор числа СУ и мест их размещения - одна из классических задач проектирования телекоммуникационных сетей.

Структура коммутируемой сети показана в правой части рис.4.6 - фрагмент (б). Она представляет собой топологию типа «звезда». Очевидно, что между АТС и каждым концентратором благодаря кольцевой структуре транспортной сети существуют два независимых (с точки зрения надежности) пути обмена информацией. Построение ГТС с применением выносных концентраторов имеет ряд преимуществ, среди которых следует назвать сокращение средней длины АЛ (что, в свою очередь, уменьшает затраты на

построение сети доступа и упрощает введение ряда новых услуг) и снижение затрат на обновление версий программного обеспечения цифровой АТС. Использование одной коммутационной станции в городах со средней и большой площадью привело к заметному росту средней длины АЛ.

Очевидно, что для крупных городов, территория которых измеряется сотнями квадратных километров, длина АЛ становится такой, что из-за большого остаточного затухания и сопротивления шлейфа ее использование становится принципиально невозможным. Разумный выход из такого положения - установка нескольких АТС. Деление территории на фрагменты, в каждом из которых устанавливается АТС, называется районированием. Эти АТС стали именоваться районными. Отсюда и сокращение - РАТС. На [рис.4.7](#) показан пример районированной сети, в которой установлены пять РАТС. Все пять коммутационных станций связаны между собой по принципу «каждая с каждой». В период развития ГТС на базе декадно-шаговых и координатных АТС этот способ построения сети использовался, если максимальное количество обслуживаемых абонентов не превышало 80000. При цифровизации ГТС такая структура межстанционной связи может применяться для создания значительной части местных телефонных сетей. Исключением могут стать ГТС в мегаполисах. Естественно, что в составе каждой АТС используются выносные концентраторы. ГТС одной и той же емкости может быть построена за счет установки разного числа РАТС. При этом средняя емкость РАТС изменяется.

При большом числе РАТС количество пучков СЛ становится чрезмерно большим. Их емкость невелика, что приводит к низкому использованию каждой СЛ. Транспортной сетью с большим количеством пучков СЛ сложнее управлять. При построении ГТС на базе декадно-шаговых и координатных станций при емкости сети свыше 80000 номеров самой экономичной была признана структура связи РАТС через УВС. Пример сети с УВС показан на [рис.4.8](#). Предполагается, что в составе ГТС выделено два узловых района. В первом узлом районе расположены три РАТС. Для станции под пятнадцатым номером показаны три типичных варианта включения телефонных аппаратов. Во втором узлом районе установлены две РАТС. Все РАТС одного узлового района связаны между собой по принципу «каждая с каждой».

При большом взаимном тяготении и при наличии технической возможности между некоторыми РАТС разных узловых районов могут использоваться прямые (не проходящие через УВС) пучки СЛ. Такой вариант показан штрихпунктирной линией для РАТС17 и РАТС29. Для обеспечения высокой надежности сети оборудование УВС

устанавливается, как минимум, на двух площадках. Эти площадки расположены в зданиях, где размещается оборудование РАТС.

В крупных городах применение УВС не обеспечивало экономичное построение телефонных сетей. В результате проведенных исследований было установлено, что при емкости ГТС свыше 800000 номеров целесообразно использовать узлы двух типов: УИС и УВС. Оборудование УИС и УВС в каждом узловом районе для повышения надежности связи разносилось, как минимум, на две площадки. Типичная структура сети с УИС и УВС приведена на [рис.4.9](#). Показаны два узловых района. В первом узловом районе изображена только одна РАТС. Для нее, как и на предыдущем рисунке, иллюстрируются три основных варианта включения терминалов. Во втором узловом районе насчитывается три РАТС. Они связаны между собой по принципу «каждая с каждой». Пучок СЛ между УИС2 и УВС22 обеспечивает также еще один маршрут установления соединения между РАТС второго узлового района. Выбор оптимального количества узловых районов и определение их границ для территории города - сложная задача, для решения которой используются современные экономико-математические методы.

Сельские телефонные сети

В соответствии с основными принципами ЕСЭ РФ назначение каждой СТС состоит в том, чтобы обеспечить обслуживание абонентов, которые располагаются в границах одного сельского муниципального (административного) района. На начальном этапе развития СТС одной из главных задач считалась организация внутрипроизводственной телефонной связи, что предопределило применение коммутационных станций малой емкости. Соотношение между величинами емкости ГТС и СТС таково: примерно 88% емкости ТфОП установлено в российских городах. По количеству эксплуатируемых АТС статистика иная. Свыше 60% всех коммутационных станций установлено в сельской местности. Еще одна важная особенность СТС заключается в том, что ее ресурсы (в основном, речь идет о транспортной сети) активно использовались для телеграфной связи, подачи программ звукового вещания и обмена данными. Типичная структура СТС приведена на [рис.4.10](#). Она иллюстрирует два используемых в СТС способа связи между ОС и ЦС: радиальный и радиально-узловой. ОС902 и ОС903 соединены с ЦС непосредственно. Этот способ связи называется радиальным. ОС911 и ОС912 включены в УС, что соответствует радиально-узловой схеме. Штрихпунктирной линией на [рис.4.10](#) показан прямой пучок СЛ между двумя ОС. Такая возможность предусмотрена принципами построения системы сельской связи, но на практике используется очень редко.

В ряде руководящих документов встречался термин «комбинированная сеть». Он использовался для того, чтобы отметить возможность создания в районном центре ГТС. Тогда на территории сельского административного района формально сосуществуют и СТС, и ГТС. В официальных документах, опубликованных в последние годы, термин «комбинированная сеть» не используется.

Зоновые телефонные сети

Термин «зональная телефонная сеть» появился как следствие разработки системы и плана нумерации ТфОП. Термин «зональная сеть» не используется в зарубежной технической литературе. Тем не менее, его использование в руководящих документах Администрации связи России можно считать логичным. На рис.4.11 изображены основные компоненты зональной телефонной сети, подтверждающие целесообразность выделения одноименного уровня иерархии в ТфОП. Важнейшим компонентом зональной телефонной сети считается ГТС, расположенная в центре субъекта Федерации. Пучками ЗСЛ и СЛМ эта сеть связана с ГТС всех крупных городов, которые - административно - обычно подчиняются центру субъекта Федерации. Предполагается, что в составе субъекта Федерации создано К таких ГТС. С центром субъекта Федерации связаны также L сельских сетей. В их состав входят и ГТС районных центров. При большом взаимном тяготении между ГТС крупных городов и ЦС некоторых сетей сельской связи могут создаваться прямые пучки ЗСЛ/СЛМ. На рис. такой пучок ЗСЛ/СЛМ показан для k-ой ГТС и первой СТС.

На рис. 4.12 показаны основные виды соединений, устанавливаемых при телефонной связи внутри одной зоны. Эти соединения можно проиллюстрировать для трех терминалов, включенных в РАТС, ЦС и одну из ОС. При установлении соединения между ТА1 и ТА2 тракт обмена информацией будет установлен через РАТС, АМТС (или ЗТУ) и ЦС. В данном случае в ГТС райцентра подразумевается установка ЦС. Если в СТС используется УСП, то ТА2 включается в одну из РАТС, входящих в состав ГТС районного центра. При установлении соединения между ТА1 и ТА3 разговорный тракт проходит через пять коммутационных станций: РАТС, АМТС (или ЗТУ), ЦС (или УСП), УС и ОС. Соединение между ТА2 и ТА3 устанавливается внутри СТС.

Междугородная и международная телефонные сети

В течение XX века междугородная и международная телефонная связь в России предоставлялась одним оператором. В начале XXI века началась демонополизация рынка междугородной и международной телефонной связи. Связь абонентов, включенных в разные ГТС «А» и «В» на [рис.4.13](#), может быть установлена через любую из нескольких сетей междугородной связи, которые эксплуатируются разными операторами. Для рассматриваемой модели изображено М сетей междугородной связи.

Целесообразно выделить два важных аспекта междугородной телефонной связи. Во-первых, Россия расположена в десяти часовых поясах. Поэтому у некоторых субъектов Федерации комфортный период времени для междугородных телефонных разговоров существенно меньше, чем аналогичный период для разговоров в местных сетях. Во-вторых, соотношение капитальных затрат на коммутационные станции и соединяющие их каналы (вместе с системами передачи) для междугородной и местных сетей, как правило, существенно различается. В частности, при построении ГТС основная доля инвестиций оператора направляется на приобретение и установку коммутационного оборудования. При построении междугородной телефонной сети (особенно между городами, значительно удаленными друг от друга) основная доля затрат оператора приходится на каналы между коммутационными станциями. Поэтому оптимизационные задачи, решаемые при построении междугородной и местных сетей, имеют определенные различия.

Структуры сетей междугородной телефонной связи разных операторов имеют много общего. По этой причине достаточно рассмотреть структуру сети междугородной телефонной связи, созданной до демонополизации рынка дальней связи. Ее модель приведена на [рис.4.14](#). Она иллюстрирует пути, по которым можно установить соединение между абонентами, находящимися в городах «А» и «В». Для рассматриваемого фрагмента ТфОП показан участок между двумя АМТС. Кроме двух АМТС показаны также узлы автоматической коммутации (УАК), выполняющие функции транзитных станций. Обязательные направления связи выделены сплошными линиями.

Штрихпунктирные линии соответствуют тем направлениям связи, которые создаются при соответствующем технико-экономическом обосновании.

Все УАК соединяются между собой по принципу «каждый с каждым». Любая АМТС должна быть связана, как минимум, с двумя УАК. При значительном трафике между АМТС может быть организован прямой пучок междугородных каналов.

Обычно емкость таких пучков рассчитывается на высокую вероятность потерь. Тогда эти пучки используются весьма продуктивно, а избыточная нагрузка обслуживается за счет обходных путей.

Среди возможных маршрутов выделяют путь последнего выбора (ППВ). Он выбирается в том случае, когда соединение не может быть установлено по иному, более «короткому», пути. Обычно ППВ проходит через два УАК.

Модель, показанная на [рис.4.14](#), позволяет определить возможные варианты установления соединения между абонентами, включенными в ГТС городов «А» и «В». Между двумя АМТС могут быть установлены соединения таких видов:

- АМТС1 - АМТС2 (если существует прямой пучок каналов);
- АМТС1 - УАК3 - АМТС2 (если существует обходный пучок каналов);
- АМТС1 - УАК4 - АМТС2 (если существует обходный пучок каналов);
- АМТС1 - УАК4 - УАК3 - АМТС2.

Трафик дальней связи постоянно растет, что стимулирует организацию множества прямых пучков междугородных каналов. Иерархические принципы, использованные при формировании структуры междугородной сети, становятся малоэффективными.

Общие принципы организации международной телефонной связи показаны на [рис.4.15](#).

Рассматриваемая модель содержит три МЦК. Эти центры размещаются в трех разных странах. Связь между МЦК, расположенными в странах «А» и «В», может проходить по прямому пучку международных каналов или через транзитный центр, который находится в стране «С».

Прямой пучок каналов создается при значительном числе соединений, которые устанавливаются между терминалами абонентов двух стран. Если результаты технико-экономического анализа не подтверждают целесообразность организации прямого пучка каналов, который непосредственно связывает МЦК двух стран, то используется возможность создания транзитных связей. Эти связи могут устанавливаться и в тех случаях, когда прямой пучок международных каналов недоступен.

Рекомендация ИТУ-Т Е.171 ограничивает количество транзитных международных каналов между МЦК двух стран. Их должно быть не более четырех. Это означает, что в соединении не должно участвовать более трех транзитных МЦК.

Соображения, изложенные выше, свидетельствуют о том, что для ТФОП определен набор возможных структур на всех иерархических уровнях. СПС и СДЭ, основаны на сетевых архитектурах. Эти сети начали создаваться позже. При их проектировании были учтены функциональные возможности современных средств передачи, коммутации и

обработки информации, а также использованы новые результаты исследований, относящихся к выбору оптимальной структуры сети.

Структуры телефонных сетей всех уровней иерархии постепенно изменяются, что обусловлено рядом причин. В первую очередь, следует выделить причины внутреннего характера, связанные с развитием ТфОП.

Важнейшей из таких причин можно считать цифровизацию телефонной сети. Внешние причины изменения структуры ТфОП обусловлены переходом к NGN.

Сетевые технологии

История развития сетевых технологий в ТфОП

Термин «технология» применим для описания ряда процессов функционирования как ТфОП в целом, так и большинства используемых в ней технических средств. Рассматриваются только те технологии, которые перечислены в прямоугольниках на [рис.4.16](#).

Возможны разные способы классификации телекоммуникационных технологий. В предлагаемой классификации акцент сделан на технологиях передачи и коммутации. Основной материал этого раздела посвящен сетевым аспектам цифровой коммутации.

Технологии передачи, как упоминалось ранее, целесообразно рассматривать применительно к транспортной сети. С практической точки зрения (в частности, при проектировании ТфОП) проблемы передачи и коммутации разделить не так просто. Следует упомянуть еще один класс технологий, непосредственно не относящийся к сетевым. Более того, этот класс технологий практически не влияет на принципы модернизации ТфОП. Тем не менее, он сыграл ключевую роль в модернизации ТфОП в последней четверти XX века. Речь идет о программном управлении. Использование программного управления заметно расширило функциональные возможности ТфОП, а также повысило эффективность системы технической эксплуатации оборудования передачи и коммутации.

Технологии передачи информации

На заре развития ТфОП систем передачи не существовало. Для передачи речевых сигналов использовались физические цепи, организованные по воздушным и кабельным линиям связи. Сначала применялись однопроводные линии. Такое решение известно как схема «провод - земля». Затем начался переход к двухпроводным цепям на абонентском участке, а для межстанционной связи стали применяться и трехпроводные линии.

Появление систем передачи обеспечило возможность организации телефонной связи на большие расстояния. Постепенно физические цепи были «вытеснены» на уровень сети доступа. Они продолжают использоваться и в ряде городских транспортных сетей.

Телефонный терминал преобразует акустические колебания в сигналы переменного тока. Они-то и передаются по физическим цепям. Дополнительное преобразование сигналов переменного тока не требуется. Спектр телефонного сигнала не ограничивается. Производится - при необходимости - изменение уровня сигнала, что определяется характеристиками используемой физической цепи. Такой подход подобен принципу: «As is» (как есть).

Аналоговые системы передачи, появившиеся в начале XX века (первый образец был создан в 1915 году), предназначались для телефонной связи. Они формировали каналы ТЧ. С этой целью спектр телефонного сигнала с помощью фильтра ограничивается диапазоном 300 - 3400 Гц. Процедуры модуляции и формирования группового сигнала позволяют уплотнить тракт обмена информацией. Усилители, размещаемые в линии связи, обеспечивают передачу группового сигнала на большие расстояния.

Применение аналоговых систем многоканальной передачи способствовало активному развитию сетей междугородной и международной связи. Для России, с учетом размеров ее территории, системы передачи стали необходимостью и для построения сетей сельской связи. В процессе производства и эксплуатации аналоговых систем передачи выявился ряд их существенных недостатков. Начался переход к цифровым системам передачи (ЦСП). Пока в российской ТфОП продолжается эксплуатация и ранее установленных аналоговых систем передачи.

Датой появления первой ЦСП можно считать 1870 год, когда в коммерческую эксплуатацию была введена аппаратура для обмена телеграфными сообщениями. В ее состав входили электромеханические регенераторы. Очевидно, что электромеханические принципы регенерации не могли использоваться в телефонии. ЦСП для телефонной связи были разработаны на основании теоретических положений преобразования аналоговых сигналов в цифровые. Практическое применение нашли ЦСП, использующие импульсно-кодировую модуляцию (ИКМ). Первые ЦСП относились к так называемой плезиохронной иерархии. ЦСП этого семейства стали широко использоваться на всех уровнях иерархии ТФОП. В отечественных ГТС чаще других применялись системы, объединенные общими названиями ИКМ-30 и ИКМ-120. На междугородном уровне обычно применялись ЦСП с большей пропускной способностью - ИКМ-480. В СТС применялись пучки малой емкости. Поэтому, наряду со стандартными ЦСП типа ИКМ-30 и ИКМ-120, стали

устанавливаться ЦСП, образующие пятнадцать ОЦК. Эти ЦСП получили название ИКМ-15.

Пропускная способность ЦСП вида ИКМ-30 и ИКМ-120 различалась более чем в четыре раза. Таковы принципы мультиплексирования для плезиохронной иерархии ЦСП. В новом поколении ЦСП, получившем название синхронная цифровая иерархия (SDH Synchronous Digital Hierarchy), приняты иные принципы мультиплексирования. Номиналы пропускной способности соседних уровней различаются ровно в четыре раза. В системах передачи поколения SDH введен также ряд других изменений, которые заметно улучшили эксплуатационные показатели транспортной сети. Одним из важнейших свойств ЦСП считается высокая помехоустойчивость. При приеме цифрового сигнала, параметры которого при распространении по линии изменяются и искажаются из-за влияния помех, необходимо решить: что было передано - «ноль» или «единица». Такая ситуация обусловлена тем, что цифровой сигнал может иметь только два состояния. Принятие решения при приеме аналогового сигнала представляется более сложным. Он имеет несчетное число состояний.

С другой стороны, при формировании цифрового сигнала неизбежно возникают искажения квантования. При большом числе преобразований типа «аналог-цифра» эти искажения накапливаются. В результате может сложиться положение, когда преимущества ЦСП, связанные с высокой помехоустойчивостью, окажутся не столь существенными. Это означает, что преимущества ЦСП в полной мере раскрываются в тех случаях, когда ТфОП построена с минимальным числом преобразований типа «аналог-цифра». Необходимым условием реализации преимуществ ЦСП становится цифровая коммутация, но этого не достаточно.

Синхронизация

Применение ЦСП потребовало решить ряд новых задач, которые не возникали при использовании аналоговой техники передачи и коммутации. Эти задачи усложнились при цифровизации ТфОП. Речь идет о синхронизации. Под синхронизацией понимается процедура согласования между функциональными элементами сети связи времени выполнения некоторых важных процессов передачи, коммутации и обработки информации. Термин «синхронизация» используется для описания различных процессов функционирования сети связи и ее отдельных элементов. Применительно к цифровой ТфОП целесообразно рассматривать три аспекта синхронизации:

- тактовая синхронизация;
- цикловая синхронизация;

- сетевая синхронизация.

Тактовая синхронизация основана на выделении сигнала синхронизации из общего потока битов. Она необходима для согласования во времени работы устройств передачи и приема на уровне битов (тактовых интервалов). Цикловая синхронизация необходима для определения в общем потоке битов начала и конца блоков информации, поступающей от разных источников, для правильного распределения ее на приеме. Сетевая синхронизация поддерживает заданные показатели долговременной точности и стабильности тактовых сигналов в разных точках сети (в том числе, при международных соединениях) с тем, чтобы обеспечивалось высокое качество передачи информации.

Для сетевой синхронизации используются кварцевые и атомные генераторы. Они вырабатывают эталонные сигналы с высокой точностью. Например, стабильность обычного кварцевого генератора составляет 10^{-6} за год. Стабильность атомных генераторов, подразделяемых на рубидиевые, цезиевые и водородные, существенно выше. В частности, цезиевый генератор обеспечивает стабильность 10^{-13} за год.

Технологии коммутации каналов

Коммутация, выполняемая операторами (телефонистами), в настоящее время используется преимущественно в различных ЦОВ, то есть в тех элементах ТфОП, которые были названы «Средствами поддержки услуг». К подобным системам можно отнести и некоторые случаи использования УАТС, когда входящие вызовы целесообразно принимать специально назначенным операторам. В сетях междугородной и международной телефонной связи продолжается (но в меньших объемах) использование коммутаторов, обслуживаемых операторами. Это связано с рядом причин развития ТфОП и с поддержкой дополнительных услуг некоторых видов.

Процессы установления соединений в местных телефонных сетях практически полностью автоматизированы. Используются две технологии коммутации: аналоговая и цифровая. Их основное различие показано на [рис.4.17](#). Верхний фрагмент модели изображает гипотетическую коммутационную станцию, которая должна соединить вход «1» с выходом «N». В нижней части модели показаны упрощенные способы решения этой задачи для двух технологий коммутации.

В аналоговой коммутационной станции соединение входа «1» с выходом «N» может быть представлено как процесс замыкания ключей K1 и K2. В результате между заранее заданными входом и выходом образуется тракт обмена информацией. Для ТфОП при аналоговой коммутации этот тракт обеспечивает прием и передачу информации в полосе пропускания канала ТЧ. Процесс связи входа «1» с выходом «N» в цифровой

коммутационной станции можно описать с помощью запоминающего устройства, в котором сигнал задерживается на время, определяемое устройством управления. В модели предполагается, что для связи входа «1» с выходом «N» сигнал должен задерживаться на время $N\tau$. Скорость передачи в установленном соединении определяется скоростью обмена информацией по ОЦК - 64 кбит/с.

Технологические и эксплуатационные преимущества цифровой коммутации сразу стали очевидны всем участникам телекоммуникационного рынка. Задача состояла в том, чтобы выбрать оптимальную стратегию применения цифрового коммутационного оборудования. Для международной и междугородной телефонных сетей возможна только одна стратегия - замещение аналоговых АМТС и МЦК цифровыми станциями. Для ГТС и - отчасти - СТС такой подход представляется не оптимальным, а в некоторых случаях и невозможным. В частности, в ПО с узлами невозможно обеспечить выполнение норм, установленных для допустимого затухания сигнала в разговорном тракте.

Цифровизация городских телефонных сетей

Для цифровизации ГТС была разработана концепция «наложенной сети», которая позволяет эффективно использовать основные преимущества цифровой коммутации. Суть этой концепции состоит в том, что для связи между цифровыми коммутационными станциями не должны использоваться маршруты, проходящие через аналоговые транзитные узлы. В нижней плоскости рис.4.18 показана модель районированной ГТС, которая состоит из четырех аналоговых РАТС. Предполагается, что все эти станции связаны между собой пучками СЛ, которые образованы физическими цепями или каналами аналоговых систем передачи. Задача заключается в выборе метода цифровизации ГТС, который позволит поэтапно заменить все эксплуатируемые аналоговые РАТС. В верхней плоскости, где далее будет иллюстрироваться процесс формирования «наложенной сети», изображена новая цифровая коммутационная станция. Ей присвоено обозначение РАТС5. Можно рассматривать и вариант замены одной из эксплуатируемых РАТС. Принципы создания «наложенной сети» при этом не меняются. Для соблюдения норм затухания и высокого качества телефонной связи новая коммутационная станция связана со всеми аналоговыми РАТС цифровыми трактами (здесь и далее они показаны пунктирными линиями). На каждой аналоговой РАТС устанавливается оборудование аналого-цифрового преобразования (АЦП). Оно необходимо для сопряжения цифровых и аналоговых систем коммутации.

Цифровизацию ТФОП следует осуществлять целенаправленно. Это означает, что необходимо заранее определить и структуру сети, которая образуется после замены всех

аналоговых РАТС, и основные показатели, которым должен отвечать модернизируемый фрагмент ТфОП. Предположим, что в результате проведенных исследований найдена оптимальная структура ТфОП. Она показана на рис.4.19. В состав ГТС входит одна РАТС, содержащая четыре выносных концентратора.

Следующие этапы цифровизации ГТС должны быть направлены на достижение конечной цели - формирования нерайонированной сети, в которой функционирует одна АТС с четырьмя выносными концентраторами. На [рис.4.20](#) показаны те изменения, которые происходят на втором этапе цифровизации ГТС. Демонтируется РАТС4. Для обслуживания абонентов этой станции устанавливается концентратор под номером 51.

Межстанционная связь между аналоговыми РАТС не изменяется. При создании соединения между терминалами, включенными в РАТС5 и ее концентратор, разговорный тракт не проходит через аналоговое коммутационное оборудование - как и требуется в концепции «наложенной сети». При связи двух терминалов, включенных в аналоговое и цифровое коммутационное оборудование, необходим лишь один переход с аналога на цифру или с цифры на аналог. Это также одно из фундаментальных требований, которое определено в концепции «наложенной сети».

Каждый следующий этап цифровизации ГТС заключается в замене одной из оставшихся в эксплуатации аналоговых РАТС. На [рис.4.21](#) и показаны изменения, которые связаны с демонтажем РАТС2 и РАТС1 соответственно. Вместо каждой из этих РАТС вводится в эксплуатацию выносной концентратор.

После замены РАТС3 концентратором К54 процесс цифровизации ГТС будет полностью завершен. Структура цифровой ГТС полностью соответствует оптимальной топологии, которая была выбрана заранее. Она приведена на [рис.4.22](#).

При цифровизации ГТС с узлами используются аналогичные принципы. Различия заключаются в способах практической реализации концепции «наложенной сети». Более сложным становится выбор той структуры ГТС, которая будет оптимальной к моменту завершения процесса модернизации сети. [Рис.4.23](#) иллюстрирует первый этап цифровизации сети, построенной с УИС и УВС. Аналоговая ГТС представлена двумя узловыми районами. В каждом районе РАТС связаны друг с другом через УИС и УВС. Предполагается, что сначала заменяется РАТС12. В плоскости «наложенная сеть» показано включение цифровой РАТС12 в ТС1, которая специально устанавливается для обеспечения сопряжения со всеми аналоговыми узлами эксплуатируемой ГТС. Здесь и далее оборудование АЦП не показано, чтобы не загромождать рисунок.

Как и в предыдущем примере, предполагается, что заранее определена структура ГТС, оптимальная к моменту завершения процесса демонтажа всех аналоговых узлов и

станций. Структура этой сети изображена на рис.4.24. Она состоит из двух транзитных станций, в каждую из которых включены три РАТС. Во все цифровые РАТС могут быть включены выносные концентраторы. На рисунках, касающихся цифровизации сети с УИС и УВС, выносные концентраторы не показаны. На рис.4.25 представлены изменения, которые выполняются на втором этапе цифровизации ГТС с узлами. Демонтируются две РАТС, расположенные в разных узловых районах. Поэтому в составе «наложенной сети» устанавливается еще одна ТС. Она предназначена для подключения цифровых РАТС, которые будут устанавливаться во втором узловом районе. Структура «наложенной сети» становится более похожей на ту топологию, которая была выбрана в качестве оптимальной - рис. .

В первом узловом районе в эксплуатации остается только одна аналоговая РАТС. Для ее работы должно продолжаться функционирование УИС1 и УВС1. Такое решение не всегда приемлемо с учетом состояния аналогового узлового оборудования. В ряде случаев приходится переключать аналоговые РАТС в цифровые транзитные станции.

На третьем этапе цифровизации ГТС - рис.4.26 - предполагается демонтаж аналоговой РАТС11. Это означает, что необходимость в дальнейшей эксплуатации УИС1 и УВС1 отсутствует. Это оборудование также демонтируется. Сохраняются УИС2 и УВС2 для поддержки работы РАТС22 и РАТС23.

Завершающий этап цифровизации сети с УИС и УВС подразумевает замену двух аналоговых коммутационных станций: РАТС22 и РАТС23. Одновременно демонтируется оборудование УИС2 и УВС2. В результате формируется структура сети, которая была показана на рис. . Возможны и другие варианты модернизации ГТС с узлами, но они не меняют суть изложенных принципов построения «наложенной сети».

Цифровизация сельских телефонных сетей

Процесс цифровизации СТС совпал с необходимостью радикальной модернизации всей системы сельской связи. Внедрение цифрового коммутационного оборудования в сельской местности необходимо начинать с уровня ЦС. Подобный подход соответствует идеологии развития сети, называемой «сверху - вниз». Его использование обосновано двумя факторами.

Во-первых, установка цифровой ЦС гарантирует соблюдение заданных показателей качества передачи информации (в первую очередь, допустимое затухание).

Во-вторых, создаются благоприятные условия для модернизации ГТС районного центра. На рис.4.27 показана динамика цифровизации СТС. Структура аналоговой сети

представлена в левой верхней части рисунка. Предполагается, что цифровизацию СТС можно провести в три этапа.

Как и при анализе процессов развития ГТС, сначала определяется оптимальное решение. Его пример показан в правом верхнем фрагменте рассматриваемой модели.

Архитектура сети, выбранная в качестве оптимальной, соответствует одному из самых перспективных вариантов модернизации СТС - ее интеграции с ГТС районного центра. В результате такого решения все сельские АТС заменяются концентраторами, которые включены в ЦС.

На первом этапе цифровизации СТС ликвидируется УС1. Две ОС (одиннадцатая и тринадцатая) заменяются концентраторами. Одновременно демонтируется РАТС1. Вместо этой станции устанавливается первый концентратор. Другая УС демонтируется на втором этапе цифровизации СТС. Предполагается, что все три обслуживаемые ОС сразу же заменяются выносными концентраторами. В результате формируется радиальная структура СТС. Заменяется также и РАТС2 в составе ГТС районного центра. Абоненты, включенные ранее в РАТС2, теперь обслуживаются четвертым выносным концентратором.

Три оставшиеся в эксплуатации аналоговые ОС заменяются концентраторами на третьем этапе цифровизации СТС. Тем самым завершается формирование структуры сети, которая была выбрана в качестве оптимальной до начала цифровизации СТС.

Возможны и другие варианты цифровизации СТС. Их выбор определяется с учетом реальных характеристик эксплуатируемых сетей и прогнозируемого спроса на услуги новых видов. Тем не менее, все практически значимые варианты развития СТС опираются на концепцию «наложенной сети».

Цифровые технологии передачи и коммутации, а также использование идеи программного управления существенно изменили облик ТФОП, обеспечили возможность введения ряда новых видов обслуживания. Процессы дальнейшего использования новых технологий не привели к качественной модернизации ТФОП. Иная ситуация характерна для СПС и СДЭ. Там новые технологии обеспечивают ряд важных изменений, которые существенно расширяют возможности обслуживания абонентов.

Принципы интегрального обслуживания

Для концепции интегрального обслуживания, с точки зрения поддержки услуг, существенны следующие моменты:

- обмен сигнальной информацией производится по специальному каналу, что позволяет эффективно вводить новые сообщения, необходимые для поддержки услуг разных видов;

- цифровой поток доводится до терминального оборудования, что улучшает качество передачи информации и повышает (по сравнению с ресурсами канала ТЧ) пропускную способность сети доступа:

- каждый пользователь имеет возможность подключать к своей линии окончное оборудование нескольких разных видов, что позволяет выйти за рамки услуг, предоставляемых средствами телефонной сети.

Во многих публикациях 80-х годов XX века идея ISDN рассматривалась как основной путь развития цифровой телефонии. Теперь, когда ситуация изменилась, некоторые специалисты стали рассматривать ISDN как ошибочную стратегию развития цифровых телефонных сетей. Вряд ли это верно.

ISDN нашла свою нишу, хотя и более скромную, чем ожидалось ранее. Коммерческая эксплуатация оборудования интегрального обслуживания позволила накопить полезный опыт и Операторам ТфОП, и пользователям. Наконец, ряд исследований, выполненных для ISDN, был востребован для других технологий.

В частности, разработанные для ISDN технологии передачи цифрового потока по двухпроводной цепи нашли применение в оборудовании семейства XDSL. Эта аббревиатура используется для группы технологий, позволяющих организовать цифровую абонентскую линию (Digital Subscriber Line).

Вид конкретной технологии обозначает символ «х». Строго говоря, ISDN нельзя считать самостоятельной коммутируемой сетью. Слово «сеть» в англоязычной технической литературе иногда используется несколько в ином смысле, чем в отечественных публикациях. Чаше оно подчеркивает некие новые функциональные возможности. ISDN можно рассматривать как фазу развития цифровой ТфОП, на которой пользователям доступны дополнительные услуги новых видов. С этой целью модернизируются сеть доступа, а также аппаратно-программные средства в составе цифровых коммутационных станций.

Цифровые каналы, используемые в ISDN, можно разделить на две основные группы. В первую группу входят D-каналы, предназначенные, в основном, для обмена информацией, которая связана с работой системы сигнализации. Такой подход позволяет

«освободить» информационные каналы от функций обмена служебной информацией. Для D-каналов стандартизованы две скорости обмена данными: 16 кбит/с и 64 кбит/с.

Во вторую группу входят В-каналы и Н-каналы, предназначенные исключительно для обмена полезной информацией. Скорость передачи информации по В-каналу всегда равна 64 кбит/с. Пользователю предоставляется возможность использования нескольких В-каналов. Такая возможность обозначает так: $N \times 64$ кбит/с. Обычно $2 \leq N \leq 30$. Пропускная способность Н-каналов представима следующим образом:

H_0 - 384 кбит/с (что эквивалентно пропускной способности шести В-каналов);

H_{10} - 1472 кбит/с (что эквивалентно пропускной способности двадцати трех В-каналов);

H_{11} - 1536 кбит/с (что эквивалентно пропускной способности двадцати четырех В-каналов);

H_{12} - 1920 кбит/с (что эквивалентно пропускной способности тридцати В-каналов).

Канал H_{10} стандартизован североамериканской организацией ANSI. Он не включен в перечень каналов ISDN, определенный рекомендациями ITU-T. Канал H_{11} в ЕСЭ РФ не используется.

Для объяснения концепции ISDN обычно используется модель, в которой принято выделять функциональные элементы и эталонные точки - интерфейсы. Подобная модель показана в верхней части рис.4.28. В нижней части этой же иллюстрации приведен пример реализации доступа ISDN.

Функциональный элемент TE1 (Terminal Equipment) соответствует оборудованию, которое отвечает всем требованиям ISDN. Для этого оборудования стандартизован четырехпроводный интерфейс S. Пользователь ISDN имеет возможность подключения терминального оборудования TE2, которое не является стандартным с точки зрения рекомендаций, разработанных для ISDN. Для подобного оборудования определен ряд интерфейсов R. для конвертирования параметров этого интерфейса, включая протоколы сигнализации, устанавливается функциональный элемент ТА (Terminal Adapter). На выходе терминального адаптера формируется интерфейс S. Для объединения терминального оборудования на стороне пользователя необходим функциональный элемент NT2 (Network Termination). Он, при необходимости, выполняет функции мультиплексирования и/или концентрации. На выходе NT2 формируется четырехпроводный интерфейс T. В ряде случаев функциональный элемент NT2 отсутствует. Тогда говорят об интерфейсе S/T.

Функциональный элемент NT1 служит для организации обмена информацией с коммутационной станцией. Часто для обмена информацией используется двухпроводная

абонентская линия. Тогда задача сводится к созданию дуплексного тракта по двухпроводной физической цепи.

Существует несколько вариантов реализации такого обмена и, соответственно, ряд спецификаций интерфейса U. Иногда функциональные элементы NT2 и NT1 объединяются в единый модуль NT12. В коммутационной станции устанавливается функциональный элемент LT (Line Termination). Функции LT и NT1 очень схожи. Между функциональными элементами LT и ET (Exchange Termination) размещается эталонная точка V.

При реализации оборудования ISDN функциональные элементы обычно входят в состав терминалов и плат коммутационной станции. В нижней части [рис.4.28](#) показан один из возможных вариантов построения ISDN. В состав цифрового телефонного аппарата входят сетевое окончание NT12 и терминальный адаптер ТА. В этом адаптере в качестве интерфейса R используется стык RS232, что позволяет подключить к ТА персональный компьютер, используя стандартный кабель. Станционные модули ISDN обычно размещаются в едином блоке, объединяющем функциональные элементы LT и ET. Важная особенность ISDN - поддержка широкого спектра услуг при помощи ограниченного набора интерфейсов «пользователь-сеть». Этими интерфейсами в ISDN служат эталонные точки T или S/T.

ITU-T (а впоследствии и ETSI) специфицировал для ISDN только два интерфейса «пользователь-сеть». Первый интерфейс в рекомендациях ITU-T назван Basic Rate Interface (BRI).

В отечественной технической литературе чаще других используется такой перевод: «интерфейс базового доступа ISDN». Реже встречаются другие трактовки - интерфейс базового уровня и интерфейс на базовой скорости. Обычно этот интерфейс обозначают в такой форме: 2B+D. Это означает, что организуются два B-канала и один D-канал.

Пропускная способность D-канала - 16 кбит/с.

Второй интерфейс в рекомендациях ITU-T назван Primary Rate Interface (PRI). Это словосочетание обычно переводится как доступ ISDN на первичной скорости.

Для ЕСЭ РФ этот интерфейс обозначается так: 30B+D. Для доступа на первичной скорости пропускная способность D-канала составляет 64 кбит/с.

Концепция Интеллектуальной сети

Стимулом для разработки концепции Интеллектуальной сети (далее используется аббревиатура IN) стал коммерческий успех услуги, предусматривающей оплату

соединения вызываемым абонентом. Эта услуга в англоязычной технической литературе известна как Freephone.

В других публикациях чаще встречается термин «Услуга 800». Такое название связано с тем, что после префикса выхода на АМТС абонент набирает трехзначный код DEF «800».

Семизначный номер, который следует за кодом DEF, называют логическим. Он, как правило, не определяет место включения соответствующей абонентской линии. Сеть должна «пересчитать» логический номер в физический на основании заранее заданных правил. Как и ISDN, Интеллектуальную сеть нецелесообразно рассматривать в качестве самостоятельного компонента ЕСЭ РФ. Фактически аппаратно-программные средства Интеллектуальной сети представляют собой некую надстройку над ТФОП. Основное назначение этой надстройки заключается в эффективной поддержке ряда услуг.

Примеры услуг, которые реализованы в Интеллектуальной сети, приведены будут далее. Функциональная модель Интеллектуальной сети приведена на [рис.4.29](#).

В нижней части модели расположены два SSP (Service Switching Point) - узлы коммутации услуг. В отечественной технической литературе встречается несколько вариантов перевода термина «SSP». Вместо слова «узел» иногда говорят «средства» или «пункт». Аппаратно-программные средства SSP могут быть частью коммутационной станции, что характерно для последних версий цифровых АТС, или автономным оборудованием. В любом случае SSP можно рассматривать как шлюз между ТФОП и аппаратно-программными средствами IN. Основные задачи SSP состоят в обнаружении вызовов, обслуживание которых должно производиться в IN, и обработке таких вызовов в соответствии с инструкциями, полученными от SCP (Service Control Point) - узла управления услугами.

SCP содержит базу данных с необходимой информацией, взаимодействует со всеми компонентами Интеллектуальной сети и управляет ими. Основные функции SCP заключаются в разработке инструкций для обработки вызова в SSP, а также в ведении базы данных, которая необходима для работы IN.

Оборудование SSP и SCP может совмещаться, образуя средства коммутации и управления услугами (SSCP). Один SCP может обслуживать несколько SSP. Каждый SSP может взаимодействовать с несколькими SCP, если подобное решение представляется целесообразным. Такая ситуация может возникать, если один SCP предоставляет услуги, характерные для федерального уровня (например, телеголосование по важным для страны вопросам), а второй SCP используется для обработки предоплаченных карт, эмитируемых региональным банком.

Средства создания услуг SCEP (Service Creation Environment Point) предназначены для разработки, создания и тестирования программного обеспечения IN. Это программное обеспечение создается, в основном, для формирования новых или модификации уже используемых услуг. Задачи, решаемые средствами эксплуатационного управления услугами SMP (Service Management Point), понятны из названия соответствующего функционального блока. Эти средства необходимы для поддержки процессов внедрения услуг, начисления платы, сбора статистики, тестирования оборудования и управления трафиком IN.

Услуги некоторых видов могут предоставляться как с использованием ресурсов Интеллектуальной сети, так и разработанными ранее способами. Например, абонент может установить у себя аппаратуру АОН, чтобы фиксировать информацию о входящих вызовах. Возможности Интеллектуальной сети позволяют получать аналогичную информацию без установки аппаратуры АОН.

Отличительная особенность рассмотренной модели состоит в том, что введение новых услуг, как правило, не требует никаких изменений в оборудовании ТфОП. Иными словами, основные процессы развития ТфОП (например, рост емкости, замена старых коммутационных станций) и введения новых услуг становятся независимыми. Важно также и то, что процесс предоставления услуг «распространяется» практически на всю ТфОП. Другие платформы не всегда способны обеспечить такую возможность.

Средства компьютерной телефонии

Русскому термину «компьютерная телефония» в англоязычной технической литературе соответствует аббревиатура СТИ (Computer Telephone Integration). В рекомендациях ITU-T, касающихся компьютерной телефонии, используется термин Service Node (SN) - узел поддержки услуг или сервисная платформа.

По ряду функциональных возможностей компьютерная телефония уступает Интеллектуальной сети, построенной в полном соответствии с принятыми стандартами, но существенно выигрывает по стоимостным показателям. Оператор ТфОП должен оценить потенциальный рынок услуг и принять решение о выборе того оборудования, которое обеспечит ему максимальную прибыль при минимальном риске.

Сервисные платформы компьютерной телефонии часто ориентированы на решение определенной группы задач. По этой причине для реализации широкого спектра услуг применяется несколько сервисных платформ. Тем не менее, такой подход, как правило, оказывается экономически оправданным. На [рис.4.30](#) приведена структура многофункционального центра обслуживания вызовов Протей РВ. Коммутационный

модуль ТСМ-1 представляет собой шлюз IP-телефонии. В него включаются тракты Е1, по которым из ТфОП поступают вызовы. Оборудование модуля ТСМ-1, как и трех других компонентов многофункционального ЦОВ, дублировано. Все модули обмениваются информацией через резервированную локальную сеть, которая работает по стандарту Ethernet. Это означает, что на выходе модуля ТСМ-1 все речевые сигналы представлены в виде IP-пакетов. Модуль АСD (автоматическое распределение вызовов) предназначен для организации обслуживания заявок, поступающих в многофункциональный ЦОВ. Этот модуль формирует очереди на обслуживание. Управление очередями может быть организовано различными способами, что позволяет применять многофункциональный ЦОВ для обслуживания трафика любой природы.

Информационный сервер IS содержит несколько подсистем: хранения данных, медиа-ресурсов, автоинформаторов, технического обслуживания. Подсистема хранения данных содержит информацию о конфигурации оборудования, статистические данные, касающиеся его функционирования и обслуженного трафика. Подсистема медиа-ресурсов предназначена для хранения записей переговоров операторов ЦОВ в цифровой форме. Существует возможность прослушивания этих переговоров с рабочего места старшего оператора. Автоинформаторы служат для передачи абонентам сообщений, позволяющих повысить эффективность обслуживания трафика. Подсистема технического обслуживания реализует функции конфигурации ЦОВ, диагностики оборудования, управления устранением отказов, генерации отчетов и архивации.

Рабочие места операторов включаются в локальную сеть. Через маршрутизатор к рабочим местам поступают вызовы, требующие обслуживания. Число рабочих мест - в зависимости от назначения многофункционального ЦОВ - может составлять от единиц до нескольких сотен. Архитектура системы не изменяется. Почти все средства поддержки услуг, в основном, были разработаны для ТфОП. Тем не менее, они могут использоваться абонентами СПС и, в меньшей степени, пользователями СДЭ. С учетом особенностей СПС и СДЭ созданы (и эти работы продолжаются) современные средства поддержки услуг, ориентированных на требования потенциальных клиентов.

Услуги, поддерживаемые ТфОП

Классификация услуг, предоставляемых ТфОП

Общепринятой классификации услуг электросвязи пока не существует. Теория классификации (таксономия) ориентирована, в основном, на физические объекты. В книге Ганса Селье «От мечты к открытию» отмечается, что классификация - самый древний и самый простой научный метод. Она служит основой теоретических конструкций многих

типов, включая процедуру установления причинно-следственных связей. Ганс Селье удачно сформулировал оценку разных вариантов классификации. Лучшей считается та, которая объединяет наибольшее число фактов самым простым из возможных способов. В этом разделе предложено несколько способов классификации, основанных на различных таксонах (характерных признаках). Такой подход позволяет более полно сформировать представления об услугах электросвязи, но сначала целесообразно обсудить предмет классификации. Следует ответить на вопрос: «Что такое услуга связи?». В последнее время перед словом «услуга» часто используются созвучные определения: «телекоммуникационная» и «инфокоммуникационная». Необходимо объяснить различие этих терминов.

В энциклопедиях и толковых словарях термин «услуга связи» объясняется как продукт деятельности, связанной с приемом, обработкой, передачей и доставкой почтовых отправлений или сообщений электросвязи. На сайте ИТУ содержится несколько определений терминов «услуга» (service) и «услуга электросвязи» (telecommunication service). Они определены в разных рекомендациях ИТУ-Т и отражают важнейшие аспекты услуги с точки зрения вопросов, которые входят в сферу компетенции ИК, предложившей трактовку термина. Если попытаться обобщить возможные толкования рассматриваемых терминов, то можно сформулировать следующее определение: услуга - это набор функций (в частности, информационных ресурсов и приложений), предлагаемых пользователям либо Операторами сетей связи, либо компаниями телевизионного или звукового вещания. Это определение позволяет уточнить термины «телекоммуникационная услуга» и «инфокоммуникационная услуга». Инфокоммуникационная система представляет собой симбиоз телекоммуникационных сетей и аппаратно-программных средств получения, передачи и обработки информации. С этой точки зрения термин «инфокоммуникационная услуга» представляется универсальным. Если рассматривать обычное соединение двух терминалов в ТфОП, то доступ к каким-либо информационным ресурсам отсутствует. Это означает, что услугу можно рассматривать как телекоммуникационную. Иногда четкую границу между инфокоммуникационными и телекоммуникационными услугами провести невозможно. В подобных случаях термин «инфокоммуникационная услуга» представляется предпочтительным.

Все инфокоммуникационные услуги - с точки зрения технологии распределения информации - могут быть разделены на три большие группы. Услуги первой группы предоставляются при помощи технологии «коммутация каналов». Характерный пример - получение сигнала о поступлении нового вызова в процессе разговора (Call Waiting). Услуги второй группы предоставляются за счет использования технологии «коммутация

пакетов». IP-телефонию можно считать типичным примером второй группы услуг. Услуги третьей группы базируются на обеих технологиях коммутации. Характерный пример - доступ в Интернет с помощью модема, то есть установление коммутируемого соединения через ТфОП и последующий обмен данными в виде пакетов. С точки зрения практики, сложившейся в телефонии, все инфокоммуникационные услуги делятся на две группы: основные и дополнительные. Для ТфОП основная услуга заключается в установлении соединения между двумя терминалами. Это коммутируемое соединение может быть местным, междугородным, международным.

Для ТфОП все те услуги, которые не входят в группу основных, считаются дополнительными. В некоторых отечественных публикациях они именуются дополнительными видами обслуживания (ДВО).

Еще один способ классификации услуг основан на принципах маршрутизации, которые приняты в ТфОП. Обычно такая классификация интересна для дополнительных услуг. Целесообразно выделить три характерных группы услуг: без изменения правил маршрутизации, с изменением правил маршрутизации, со специфической реализацией. Услуги без изменения правил маршрутизации вызовов основаны на новых функциональных возможностях терминального оборудования и/или коммутационных станций с программным управлением. Характерный пример - уже упомянутая услуга Call Waiting - получение сигнала о поступлении нового вызова в процессе разговора. К услугам, для поддержки которых может потребоваться изменение правил маршрутизации, относятся виды обслуживания, обеспечиваемые в Интеллектуальной сети. Услуги со специфической реализацией требуют установки дополнительных средств либо в терминальном оборудовании, либо в станциях коммутации. Пример услуг такого рода - обеспечение конфиденциальности связи. На [рис.4.31](#) показаны три способа классификации услуг, предложенные в этом разделе. Они не охватывают все варианты классификации, возможные и интересные с практической точки зрения. В частности, изложенные способы классификации могут быть дополнены признаками, касающимися использования УСС.

Для телефонной связи, как правило, коммутируются каналы ТЧ. Значительная доля услуг также предоставляется за счет использования транспортных ресурсов канала ТЧ или двухпроводных физических цепей, образующих сети доступа.

На [рис.4.32](#) представлена классификация видов обслуживания, реализуемых на базе ТфОП. Она основана на различных видах связи, опирающихся на ресурсы ТфОП. Следует подчеркнуть, что предлагаемая классификация весьма условна. В частности,

СПС, можно полностью «уложить» в блок «Мобильный доступ», но вряд ли такой прием будет методологически оправдан.

Слово «service» в английском языке имеет, как минимум, два значения: услуга и обслуживание. Выбор адекватного варианта перевода может быть сделан только в процессе анализа текста на английском языке. В этой лекции термин «обслуживание» используется для обозначения вида связи. Для каждого вида связи может быть определен набор услуг. С этой точки зрения термин «обслуживание» следует считать более общим. С другой стороны, некоторые услуги (в частности, мультимедийные, предусматривающие, например, одновременную передачу речи и данных) предоставляются за счет нескольких видов связи.

Для описания услуг используются так называемые атрибуты. Они обычно содержат количественные характеристики (например, скорость передачи информации и время доставки сообщения). Кроме того, атрибутами могут быть и словесные утверждения (в частности, «да», «нет», «услуга временно не поддерживается»).

Дополнительные услуги в телефонии

Левый нижний блок на [рис.4.32](#) включает в себя множество дополнительных услуг, поддерживаемых ТфОП. Эти услуги могут предоставляться пользователям различными аппаратно-программными средствами.

До появления коммутационных станций с программным управлением перечень дополнительных услуг, доступных абонентам ТфОП, был ограничен функциональными возможностями следующего рода:

- вызов оператора одной из экстренных служб (пожарная команда, органы охраны правопорядка, скорая медицинская помощь, аварийная бригада газовой сети) или же объединенной «Службы спасения» доступ к информационно-справочным службам разного назначения для получения необходимых сведений;

- выход к оператору междугородной и международной телефонной связи для установления требуемого соединения.

Введение в коммерческую эксплуатацию коммутационных станций с программным управлением позволило существенно расширить спектр дополнительных услуг, которые стали доступны абонентам ТфОП. Например, в североамериканской ТФОП широкую популярность получили дополнительные услуги четырех видов:

1. Уведомление о поступлении нового вызова в процессе разговора (Call Waiting). Услышав соответствующий сигнал (тиккер) абонент может ответить на новый вызов.

Установленное ранее соединение сохраняется. Ответив на новый вызов, абонент может вернуться к прерванному на время разговору.

2. Переадресация вызова по заранее заданному номеру (Call Forwarding). Все входящие вызовы автоматически направляются на другой номер, который заранее выбран абонентом. Этот номер хранится в коммутационной станции в течение времени действия данной услуги.

3. Поцключение к уже установленному соединению терминала третьего абонента (Three-Way Calling). Эту услугу можно рассматривать как простейший вариант конференции. Услуга позволяет эффективно решить задачи, в которых необходимо учитывать мнение трех сторон.

4. Сокращенная нумерация для вызова определенной группы абонентов (Speed Calling). Эта услуга позволяет сократить время установления соединения, а также уменьшить вероятность ошибок, которые неизбежны при наборе большого числа цифр. В связи с расширением функциональных возможностей телефонных терминалов интерес к этой услуге стал падать. Примеры других дополнительных услуг, используемых абонентами ТфОП, могут быть представлены следующим перечнем:

- переадресация при занятости линии вызываемого абонента (один из видов услуги Call Forwarding);
- временный запрет входящей связи (всех вызовов или только местных), что может оказаться полезным в период выполнения важной работы;
- исходящая связь по паролю (вызовы всех вицов, или только к платным службам, а также междугородные и международные);
- определение номера вызывающего абонента без установки аппаратуры АОН рядом с вызываемым терминалом.

Реализация этих и ряда других услуг возможна разными способами. На [рис.4.33](#) показана классификация аппаратно-программных средств, которые могут быть использованы для предоставления дополнительных услуг абонентам ТфОП.

Дополнительные услуги могут предоставляться устройствами управления АТС без использования каких-либо дополнительных аппаратно-программных средств. Например, четыре приведенные выше дополнительные услуги могут быть предоставлены за счет функциональных возможностей, присущих коммутационным станциям с программным управлением. Более того, современные цифровые АТС способны предоставлять услуги CENTREX, позволяющие предприятию без установки оборудования коммутации получить все функциональные возможности УАТС.

В городских и сельских телефонных сетях малой емкости доступ к экстренным и к информационно-справочным службам также обеспечивается за счет тех функциональных возможностей, которые присущи современным коммутационным станциям. В таких случаях создается своего рода виртуальный УСС. В большинстве городских и сельских телефонных сетей для выхода к экстренным и информационно-справочным службам устанавливается оборудование УСС. В настоящее время для связи с операторами экстренных служб набираются две цифры, которые идентичны на всей территории России. Для выхода к операторам информационно-справочных служб обычно набираются три цифры. В качестве первой цифры выхода к УСС пока используется цифра «0». В перспективе, согласно общеевропейским требованиям, нумерация всех дополнительных услуг будет начинаться с цифры «1».

Концепция «Интеллектуальная сеть» особо эффективна для предоставления услуг, которые предусматривают изменение правил маршрутизации. При использовании средств компьютерной телефонии подобные возможности ограничены. По этой причине средства компьютерной телефонии иногда называют одностанционной Интеллектуальной сетью (oneswitch intelligent network). При разработке концепции ISDN основное внимание уделялось дополнительным услугам, которые не относятся к телефонии. Тем не менее, ряд интересных возможностей ISDN предлагает и для телефонной связи.

Дополнительные услуги, эффективно поддерживаемые аппаратно-программными средствами Интеллектуальной сети, могут быть представлены следующими примерами:

1. Оплата соединения вызываемым абонентом (Freephone). Предоставление этой услуги подразумевает набор трехзначного кода (в настоящее время многими Операторами ТфОП для этого выделена комбинация «800») и семизначного номера. Набранные семь цифр, называемые логическим номером. Определяют только вид услуги (например, заказ пиццы или бронирование авиабилета). Аппаратно-программные средства SSP и SCP, в зависимости от времени суток, интенсивности трафика и других факторов, определяют ту точку (физический номер), куда следует направить вызов. В ряде случаев (в частности, для бронирования авиабилета) соединение может быть установлено с рабочим местом оператора, который находится в другом городе и даже в другой стране.

2. Информационная услуга с начислением дополнительной платы (Premium Rate). При заказе некоторых услуг абонент должен заплатить не только за трафик, но и за полученную информацию. Полученные деньги делятся между Оператором ТфОП и поставщиком информационных ресурсов в соответствии с заранее установленными правилами. В ряде стран для этой услуги в качестве трехзначного кода используется

комбинация «900». По этой причине в технической литературе появилось название «Услуга 900».

3. Виртуальная частная сеть (Virtual private network). Суть этой услуги - использование ресурсов ТфОП для организации корпоративной сети, в которой могут функционировать несколько УАТС и/или обслуживаться абоненты за счет функциональных возможностей CENTREX.

4. Телеголосование (Televoting). Эта услуга позволяет провести опрос общественного мнения с использованием ТфОП. Для разных вариантов ответа назначаются разные номера. Каждый участник голосования набирает тот номер, который соответствует его мнению. Возможно использование единственного телефонного номера, набрав который участник голосования получает речевую подсказку и сообщает свое мнение либо путем дополнительного набора, либо в речевом диалоге.

Приведенные четыре примера услуг - теоретически – могут быть реализованы и средствами компьютерной телефонии. Услуга Freephone, если речь идет о заказе пиццы, за счет средств компьютерной телефонии реализуется, по всей видимости, экономичнее. Для организации бронирования авиабилетов в транснациональной компании необходимо централизованное управление информационными ресурсами. В подобных случаях выбор платформы «Интеллектуальная сеть» представляется предпочтительным. Таким образом, средства компьютерной телефонии, скорее всего, ориентированы на услуги, которые предоставляются в пределах местной телефонной сети. Характерные примеры тех услуг, которые эффективно поддерживаются средствами компьютерной телефонии, могут быть представлены таким перечнем:

1. Использование prepaid карт для разных видов обслуживания.
2. Обеспечение связи с операторами и автоматическими устройствами в ЦОВ разного назначения.
3. Организация системы речевой почты для абонентов фиксированных и мобильных сетей телефонной связи.

Среди услуг ISDN целесообразно выделить те возможности, реализация которых обусловлена доведением цифрового потока до терминалов пользователя. Характерными примерами услуг такого рода следует считать:

1. Телефонную связь с кодированием сигнала в полосе пропускания 7 кГц, что обеспечивает более комфортное восприятие речи. Для связи при этом используется стандартный В-канал.
2. Передача сигнальных сообщений между терминалами пользователей для обмена небольшими блоками информации.

Спектр услуг, которые Оператор ТфОП предлагает своим абонентам, постоянно расширяется. Некоторые услуги не пользуются спросом; постепенно они исчезают из перечня поддерживаемых функциональных возможностей. Появляются новые виды услуг.

Особенности предоставления услуг в СТС

Системе сельской телефонной связи свойственны некоторые особенности, среди которых важная роль принадлежит экономическим, географическим, демографическим и историческим факторам. В мировой практике обычно выделяют два типичных фрагмента сельской местности. Первый фрагмент включает в себя сельские населенные пункты. Строго говоря, именно для таких фрагментов рассматриваются принципы построения сельской (rural) связи. Вторым фрагментом - так называемые удаленные (remote) пункты. Организация связи для удаленных пунктов требует весьма существенных капитальных затрат. Для организации связи с удаленными пунктами, которые, как правило, являются и малонаселенными, установлены принципы «универсального обслуживания».

Федеральный закон «О связи» содержит отдельную главу «Универсальные услуги связи», посвященную этим принципам. Законом «О связи» предусмотрено, чтобы житель удаленного пункта мог без использования транспортных средств не более чем за час добраться до таксофона. В населенных пунктах с численностью жителей свыше пятисот человек должен быть хотя бы один коллективный пункт доступа в Интернет. Отдельная программа предусматривает организацию доступа в Интернет для каждой школы. Еще одна особенность системы сельской телефонной связи заключается в том, что в ней уже давно, раньше чем в городах, начались интеграционные процессы.

Характер этих процессов иллюстрируется на [рис.4.34](#). На этом рисунке показана схема организации связи между ЦС и ОС. Предполагается, что обе сельские АТС относятся к аналоговым коммутационным станциям. Они связаны между собой трактом Е1, который образуют две цифровые системы передачи. Из всего комплекса систем передачи на схеме изображены только аналого-цифровые преобразователи. Для обмена телеграфными сообщениями и подачи программ звукового вещания в сельских транспортных сетях используются специальные блоки ввода и вывода сигналов. Эти блоки «перехватывают» линейный тракт системы передачи, чтобы занять заранее выбранные каналные интервалы. Канальный интервал, предназначенный для передачи телеграфных сообщений, при необходимости, может быть уплотнен оборудованием для организации нескольких трактов обмена дискретной информацией.

Для подачи программ звукового вещания используется несколько каналных интервалов. Их количество определяется классом канала вещания. Соединительные линии

(все или их часть) на стороне ОС могут включаться через диспетчерский коммутатор, предназначенный для информационной поддержки процессов управления сельскохозяйственным производством. Диспетчерский коммутатор может также «перехватывать» транспортные ресурсы в виде соединительных линий. Подобный способ организации связи используется в тех случаях, когда производственные процессы требуют наличия мощной диспетчерской службы.

Перспективы развития рынка услуг ТфОП

Дальнейшее развитие рынка услуг, предоставляемых ТфОП, будет происходить по нескольким направлениям. Целесообразно выделить три основных пути развития тех услуг, которые прямо или косвенно связаны с телефонией. Первое направление - расширение спектра услуг, предоставляемых современными сетями телефонной связи. Новые виды услуг появляются как следствие развития ТфОП и под воздействием эволюционных процессов, протекающих в других сетях. В частности, стало известно, что Операторы мобильной связи получают сравнительно высокие доходы за счет услуг передачи коротких сообщений SMS (Short Message Service). Этот факт стимулировал разработку телефонных аппаратов с аналогичными возможностями, предназначенных для применения в ТфОП.

Второе направление развития рынка услуг связано с процессами конвергенции, характерными для современной инфокоммуникационной системы. Одно из интересных направлений процессов конвергенции - сближение функциональных возможностей сетей фиксированной и мобильной связи. Характерным примером может считаться мобильность (хотя и ограниченная) новых видов бесшнуровых (cordless) телефонных аппаратов, которые предназначены для ТфОП. Среди услуг, связанных с процессами конвергенции, следует выделить так называемый бесшовный (seamless) переход из одной сети в другую. Эта услуга позволяет абонентам снизить свои расходы на связь при переходе из сети мобильной связи в ТфОП. При обратном переходе важным свойством рассматриваемой услуги становится возможность не прерывать сеанс связи.

Третье направление обусловлено одной из ведущих тенденций развития всей инфокоммуникационной системы. Речь идет о переходе к NGN. Несомненно, в эпоху NGN, основанной на пакетных технологиях передачи и коммутации, телефонная связь будет играть важную роль как одно из эффективных средств коммуникаций.

Качество обслуживания в ТфОП

Основные понятия

Термин «качество обслуживания» часто встречается в технической литературе. В публикациях на английском языке ему соответствует словосочетание Quality of Service (QoS). Термин «качество обслуживания» употребляется при описании различных аспектов функционирования телефонных сетей. В документах ИТУ-Т термины, относящиеся к качеству обслуживания, определяются рекомендацией E.800. Показатели QoS в этой рекомендации рассматриваются как результат совместного проявления характеристик обслуживания. На [рис.4.35](#), заимствованном из рекомендации ИТУ-Т E.800, показана модель, которая определяет компоненты качества обслуживания и их взаимные связи. Пунктирная линия делит рисунок на две части. В верхней части приведены основные характеристики качества обслуживания. Характеристики сети перечислены в нижней части модели. Во всех блоках указаны только названия на русском языке.

Ожидаемый уровень обслуживания может оцениваться такими характеристиками:

- поддержка обслуживания (service support);
- удобство обслуживания (service operability);
- предоставление обслуживания (serviceability);
- безопасность обслуживания (service security).

Характеристики поддержки обслуживания отражают способность оператора (или иного участника инфокоммуникационного рынка) предоставить услуги и способствовать их использованию. Характеристики удобства обслуживания оценивают успешность и простоту пользования услугами. Характеристики предоставления обслуживания, в свою очередь, делятся на три группы:

- доступность услуг (service accessibility);
- стабильность обслуживания (service retainability);
- полноценность обслуживания (service integrity).

Характеристики доступности услуг оценивают возможность их получения по требованию пользователя (с заранее специфицированными допусками и с соблюдением других заданных условий) и продолжения обслуживания в течение запрошенного интервала времени без ощутимого ухудшения. Характеристики устойчивости обслуживания определяют возможность пользования полученной услугой с заданными атрибутами в течение запрошенного интервала времени. Характеристики полноценности обслуживания – общая мера того, что обслуживание, будучи полученным, происходит без значительного ухудшения.

Характеристики безопасности обслуживания связаны со следующими аспектами функционирования сети электросвязи: несанкционированный мониторинг, жульническое использование, злонамеренное повреждение, неправильное применение, ошибка человека, стихийное бедствие.

Все перечисленные выше характеристики обслуживания зависят от качества работы сети, а также от ее функциональных возможностей. Соответствующие связи показаны на рис. ниже пунктирной линией.

Характеристики начисления платы (charging performance) оцениваются в тексте рекомендации E.800 проще, чем в ряде других международных документов. Они определяются через вероятность корректного начисления платы с точки зрения вида связи, пункта назначения, времени суток и длительности соединения.

Характеристики обслуживания трафика (trafficability performance) определяют способность технических средств обслуживать трафик с определенными параметрами. Эти характеристики разделены на три большие группы.

Термины для первой группы - «Ресурсы и оборудование» - еще не определены. По всей видимости, определения для характеристик планирования (planning performance), предоставления услуг (provisioning performance) и административного управления (administration performance) будут разработаны в ближайшее время.

Вторая группа названа функциональной надежностью (dependability). Этот собирательный термин указывает на характеристики готовности (работоспособности), учитывая основные влияющие факторы. Выделяются четыре важные характеристики:

готовность (availability) - способность технического средства выполнить требуемые функции в данный момент времени или в любой момент внутри заданного интервала времени (при наличии соответствующих внешних ресурсов, если они необходимы);

надежность (reliability) - способность технического средства выполнять требуемые функции при заданных условиях в течение определенного интервала времени;

восстанавливаемость (maintainability) - способность технического средства в установленных условиях его использования поддержать восстановление такого его состояния, в каком оно может выполнять требуемые функции при условии, что техническое обслуживание проводится с применением установленных процедур и ресурсов;

поддержка технического обслуживания (maintenance support) - способность эксплуатационной компании при заданных правилах технического обслуживания по требованию использовать ресурсы, необходимые для обеспечения работоспособности определенного технического средства.

К третьей группе относятся характеристики передачи сигналов (transmission performance). Они определяются как уровень воспроизведения сигнала, переданного через систему связи, которая находится в работоспособном состоянии. В рекомендации ITU-T E.800 выделены характеристики среды распространения (propagation performance). Они определяются способностью этой среды обеспечивать прохождение сигнала с заданными допусками без искусственного регулирования этого процесса.

Очевидно, что исследование вопросов качества обслуживания в ТфОП, как и в любой другой сети электросвязи, требует решения комплекса взаимосвязанных задач. Тем не менее, подход, предложенный ITU-T, позволяет выделить ряд задач, решение которых применительно к ТфОП - можно рассматривать как самостоятельные проблемы. Одна из важных задач построения ТфОП состоит в том, чтобы обслуживание вызова, которое включает в себя ряд этапов, происходило с соблюдением всех установленных норм, а при телефонном разговоре соблюдались заданные показатели качества передачи речи. Эти нормы и показатели в каждой стране регламентируются национальной Администрацией связи. Их совокупность, а также соответствующие численные значения базируются на документах ITU и ETSI.

Для российской ТфОП показатели качества обслуживания традиционно делятся на две большие группы. В первую группу входят показатели качества обслуживания вызовов. Значительная часть этих показателей входит в блок, названный на рис. характеристикам предоставления обслуживания.

Качество обслуживания вызовов

Для оценки качества обслуживания вызовов в ТфОП чаще других используются две меры: вероятность случайного события и время выполнения связанного с этим событием процесса. Длительность выполнения большинства процессов, касающихся обслуживания вызовов, является случайной величиной. По этой причине она тоже оценивается при помощи характеристик, принятых для описания случайных величин.

На [рис.4.36](#) показано гипотетическое соединение между двумя телефонными аппаратами, установленное в ТфОП. Слева показан телефонный аппарат вызывающего абонента. Пользователя, который инициирует соединение в ТфОП, обычно именуют абонентом «А». Абонентом «Б», соответственно, называют вызываемого пользователя. Его телефонный аппарат изображен в правой части [рис.4.36](#). Нижний индекс местной станции соответствует виду абонента (вызывающий или вызываемый). Предполагается, что соединение установлено через N транзитных станций, а оба телефонных аппарата

включены (каждый в свою станцию) по индивидуальным двухпроводным абонентским линиям.

На основании теоретических исследований и результатов измерений в ТфОП были установлены нормы, которые определяют показатели качества обслуживания вызовов для сети в целом. Далее соответствующие нормы указываются с нижним индексом «0».

На рис.4.37 указаны только два таких показателя: P_0 – вероятность потери вызова и T_0 – среднее время установления соединения. Обычно показатели качества обслуживания вызовов нормируются для часа наибольшей нагрузки (ЧНН).

Для местной станции, в которую включен абонент «А», показаны два возможных исхода процесса установления соединения. С вероятностью P_j вызов в $МC_A$ теряется. Это означает, что с вероятностью $Q_j=1-P_j$ соединение продолжает устанавливаться. Если вероятности обслуживания вызова во всех коммутационных станциях являются взаимно независимыми случайными величинами, то значение P_0 определяется по такой формуле:

$$P_0 = 1 - \prod_{\{j\}} (1 - P_j). \quad (1)$$

На установление соединения между терминалами абонентов «А» и «Б» каждая коммутационная станция затрачивает время T_k . Величина T_0 определяется как математическое ожидание суммы случайных величин:

$$T_0 = \sum_{\{k\}} T_k. \quad (2)$$

Допустимая вероятность потерь выбирается с учетом двух основных соображений. С одной стороны, большие потери делают неприемлемым обслуживание с точки зрения абонентов. С другой стороны, при построении ТфОП с очень малыми потерями существенно увеличиваются затраты Оператора. В результате он вынужден устанавливать высокие тарифы, что также неприемлемо для абонентов. Это означает, что необходимо найти компромиссное решение.

Нормативные документы Администрации связи России, действующие в настоящее время, определяют величину P_0 для типичных соединений между терминалами абонентов «А» и «Б». В частности, для соединений в пределах местной телефонной сети были установлены следующие допустимые вероятности потерь:

- при связи двух абонентских терминалов одной ГТС - 2,0%
- при связи абонентского терминала ГТС с УСС - 0,1%;
- при связи УСС с рабочим местом оператора экстренных служб 0,1%;
- при связи УСС с рабочим местом оператора информационных и справочных служб - 3,0%;
- при связи двух абонентов одной СТС - 7,0%.

Следовательно, при связи абонентов ТфОП допускаются вероятности потерь в ЧНН, измеряемые единицами процентов. При обращении к оператору экстренных служб предполагается нормирование потерь, составляющих доли процента.

Выбор средних значений длительности установления соединения и отдельных этапов обслуживания вызова осуществляется с учетом тех же соображений, которыми руководствуется Оператор для установления допустимых потерь. При нормировании величин T_k , наряду со средним значением - T_k , иногда устанавливается и квантиль соответствующей функции распределения. Это означает, что определяется вероятность, с которой рассматриваемая случайная величина не должна превышать некий порог - T_x . Как правило, эта вероятность - значение функции распределения случайной величины - выбирается на уровне 0,95 или более.

Тогда справедливо такое неравенство: $T_k < T_x$.

Вызов начинается с поднятия микрофонной трубки. Через случайное время - T_{oc} абонент услышит акустический сигнал «Ответ станции». ITU-T рекомендует, чтобы для эталонной нагрузки «А» были установлены следующие нормы:

- среднее значение длительности интервала времени T_{oc} не должно быть выше 400 мс;
- с вероятностью 95% длительность интервала времени T_{oc} не должна превышать 600 мс.

Акустический сигнал «Ответ станции» посылается абоненту своей МС. Поэтому в формулу (2) входит всего одно слагаемое. При расчете времени установления соединения формула (2) будет содержать максимальное число слагаемых. Рассматриваемый отрезок времени начинается после набора последней цифры номера вызываемого абонента. Заканчивается время установления соединения получением акустического сигнала («Контроль посылки вызова» или «Занято»). Этот сигнал определяет состояние терминала вызываемого абонента. В ряде зарубежных ТфОП для этого отрезка времени - T_{yc} при междугородном соединении выбраны такие нормы:

- среднее значение длительности интервала времени T_{yc} не должно быть выше 2,5 с;
- с вероятностью 95% длительность интервала времени T_{yc} не должна превышать 4,0 с.

Численные значения этих норм определены для страны с небольшой территорией (когда временем распространения сигнала можно пренебречь) и при условии передачи сигналов управления и взаимодействия по сети ОКС. С другой стороны, приведенные величины выбраны с учетом реакции абонента на длительность времени установления

соединения. По этой причине их можно считать близкими к тем, которые универсальны для ТфОП любой страны.

Величины T_k как элементы множества $\{K\}$, могут быть связаны между собой через весовые коэффициенты - β_k , сумма которых равна единице. Эти коэффициенты определяются Операторами ТфОП на основании довольно простых соображений. Тогда величины T_k определяются по формуле (2) тривиально. В левую часть (2) подставляется среднее значение времени установления соединения - T_{yc} .

Существенно сложнее «распределить» 95%-й квантиль функции распределения (в рассматриваемом примере он равен 4,0 с) по элементам сети.

Важная особенность показателей качества обслуживания в ТфОП - их постепенное изменение. Этот процесс обусловлен двумя основными тенденциями. Первая тенденция связана с тем, что большинство абонентов предъявляет все более жесткие требования к качеству обслуживания трафика. Вторая тенденция формируется вследствие расслоения клиентской базы. Некоторые группы абонентов, приносящих Оператору ТфОП самые высокие доходы, предъявляют особые требования к показателям обслуживания трафика. Операторы ТфОП безусловно заинтересованы в том, чтобы такие абоненты не ушли к конкурентам. В качестве меры удержания абонентов с высокими доходами (повышения их лояльности) используется практика заключения соглашений об уровне обслуживания, более известных по англоязычной аббревиатуре SLA (Service Level Agreement).

Один из характерных примеров тех показателей, которые обычно входят в состав соглашения об уровне обслуживания, - блок «Функциональная надежность» (центральный фрагмент в нижней части рис.). В частности, для коэффициента готовности - A при заключении соглашения SLA устанавливается уровень 0,99999. В технической литературе появилось выражение «Правило пяти девяток». Коэффициент готовности за период времени - T_x определяется отношением времени нахождения рассматриваемого объекта в работоспособном состоянии - T_a к величине T_x . Предполагается, что в течение времени T_x исследуемый объект находится либо в работоспособном состоянии, либо выведен из эксплуатации. Длительность периода, когда рассматриваемый объект не эксплуатируется равно T_f . Тогда выражение для расчета коэффициента готовности может быть представлено следующим образом:

$$A = T_a / T_a + T_f \quad (3)$$

Подставляя значение $A=0,99999$, можно определить допустимое значение T_f выбранного периода эксплуатации. За год искомая величина составляет около 5,3 минуты. Для выполнения такой нормы часто требуется резервирование многих элементов сети. Это означает, что прогнозирование тех изменений, которые связаны с показателями

качества обслуживания, становится одной из важных задач, стоящих перед Операторами ТфОП.

Качество телефонной связи

Показатели качества обслуживания, рассмотренные в предыдущем разделе, интересны - при использовании технологии «коммутация каналов» - для этапов установления и прекращения соединений в ТфОП. Соответствующие операции выполняются до и после основного этапа обслуживания вызова - телефонного разговора двух абонентов (в общем случае - обмена информацией между терминалами).

На этом этапе для абонентов ТфОП существенны показатели качества телефонной связи. Они определяются характеристиками транспортной сети и коммутационных станций.

Важнейшей оценкой качества телефонной связи считается мнение абонента. В качестве меры качества речи ITU-T использует среднюю экспертную оценку, известную по аббревиатуре MOS (Mean Opinion Score). Она определяется по пятибалльной шкале. В стандартах ETSI для оценки качества телефонной связи используется величина R. Она связана с оценкой MOS нелинейной зависимостью. В практически значимом диапазоне MOS (от 2,5 до 4,4) применяется простое правило пересчета: $MOS=R/20$. Для основной массы абонентов приемлема оценка $R>70$. Связь величин R с абонентской оценкой телефонной связи иллюстрируется рис.

С точки зрения восприятия звуковой информации особое значение придается показателю LSQ (Listener Speech Quality) – качеству речи для слушающего абонента. Величины LSQ, как и значения R, определяются субъективно. Тем не менее, существуют и объективные оценки качества телефонной связи. Они прямо или косвенно связаны с субъективными оценками качества передачи речи. Объективные оценки, как правило, отражают один или несколько аспектов качества телефонной связи. Ценность подобных оценок заключается в том, что они позволяют планировать ТфОП с учетом требований к качеству передачи речи. Для объективных оценок обычно используются характеристики, которые могут быть измерены в процессе эксплуатации ТфОП.

Оценки, подобные приведенным на рис. , интересны также для СПС и СДЭ. Правда, для обеспечения заданного уровня показателей качества обслуживания в этих сетях приходится решать ряд других задач.

На рис.4.38 приведена модель тракта обмена информацией между телефонными аппаратами двух абонентов. Как и для модели, рассмотренной ранее, предполагается, что соединение установлено через N транзитных станций, а включение обоих телефонных

аппаратов осуществляется по индивидуальным двухпроводным абонентским линиям. Для показателей, определяемых между абонентскими терминалами, в качестве нижнего индекса используется цифра «0». В других случаях вводятся буквенные обозначения при нормируемых показателях.

Одним из важнейших показателей качества телефонной связи считается величина остаточного затухания между абонентскими терминалами - A_0 . Она определяется как разность между уровнями сигнала частотой 1020 Гц на входе и на выходе канала, который организован между абонентскими терминалами. Снижение уровня принимаемого сигнала (при значительном остаточном затухании) ухудшает восприятие речи. В сочетании с другими мешающими факторами (в частности, с шумами) рост остаточного затухания может привести к невозможности телефонного разговора.

Требования абонентов ТфОП к остаточному затуханию разговорного тракта можно оценить при помощи сравнения с общением двух человек, находящихся на расстоянии друг от друга. Процессы, связанные с восприятием речи, очень схожи. В обоих случаях сигнал ослабевает. На [рис.4.39](#) приведены данные об изменении требований абонентов к качеству телефонной связи.

Очевидно, что величина остаточного затухания A_0 в процессе модернизации ТфОП должна уменьшаться. При цифровизации ТфОП такая возможность достигается за счет использования концепции «наложенной сети». Для цифрового участка ТфОП (между двумя АЦП) остаточное затухание целесообразно устанавливать на уровне 7 дБ. Эта величина относится к базовой сети. Тогда в цифровой ТфОП [рис.4.40](#) остаточное затухание разговорного тракта будет определяться параметрами абонентских линий.

В скобках для каждого обозначения остаточного затухания (между терминалами двух абонентов - A_0 , абонентской линии - $A_{ал}$ и базовой сети - $A_{бс}$) приведены те перспективные нормы, которые рекомендуются для цифровой ТфОП. Следует заметить, что повышение допустимой величины остаточного затухания для абонентской линии (ранее было нормировано значение 4.5 дБ) может привести к проблемам с применением технологий xDSL. Кроме того, увеличиваются затраты на построение сети доступа.

Еще одним важным показателем качества телефонной связи в цифровой ТфОП является коэффициент искажений битов – BER (Bit Error Rate). В ряде публикаций этот коэффициент называется частотой появления искаженных битов. Увеличение количества таких битов может заметно исказить речевой сигнал и существенно влиять на процессы обмена данными при использовании ресурсов ТфОП для передачи дискретной информации. Качество тракта Е1, соединяющего цифровые коммутационные станции

между собой, считается хорошим, если коэффициент искаженных битов не превышает уровень 10^{-6} .

Качество обслуживания стало очень эффективным средством для повышения конкурентоспособности Оператора связи. По этой причине исследованию характеристик качества обслуживания и разработке методов его улучшения уделяется серьезное внимание.

Организация систем спутниковой связи и вещания

23 апреля 1965 года был запущен на высокую эллиптическую орбиту первый отечественный спутник связи "Молния-1", который ознаменовал становление в нашей стране спутниковой радиосвязи. Почти одновременно в США был запущен на геостационарную орбиту первый спутник коммерческой связи Intelsat-1.

Таким образом, была реализована идея резкого увеличения дальности радиосвязи благодаря размещению ретранслятора высоко над поверхностью Земли, что позволило обеспечить одновременную радиовидимость расположенных в разных точках обширной территории радиостанций. Преимуществами систем спутниковой связи (СС) являются большая пропускная способность, глобальность действия и высокое качество связи.

Конфигурация систем СС зависит от типа искусственного спутника Земли (ИСЗ), вида связи и параметров земных станций. Для построения систем СС используются в основном три разновидности ИСЗ [рис.4.41](#) - на высокой эллиптической орбите (ВЭО), геостационарной орбите (ГСО) и низковысотной орбите (НВО). Каждый тип ИСЗ имеет свои преимущества и недостатки.

Примером ИСЗ с ВЭО могут служить отечественные спутники типа "Молния" с периодом обращения 12 часов, наклоном 63° , высотой апогея над северным полушарием 40 тысяч км. Движение ИСЗ в области апогея замедляется, при этом длительность радиовидимости составляет 6..8 ч. Преимуществом данного типа ИСЗ является большой размер зоны обслуживания при охвате большей части северного полушария. Недостатком ВЭО является необходимость слежения антенн за медленно дрейфующим спутником и их переориентирования с заходящего спутника на восходящий.

Уникальной орбитой является ГСО - круговая орбита с периодом обращения ИСЗ 24 часа, лежащая в плоскости экватора, с высотой 35875 км от поверхности Земли. Орбита синхронна с вращением Земли, поэтому спутник оказывается неподвижным относительно земной поверхности. Достоинства ГСО: зона обслуживания составляет около трети земной поверхности, трех спутников достаточно для почти глобальной связи, антенны

земных станций практически не требуют систем слежения. Однако в северных широтах спутник виден под малыми углами к горизонту и вовсе не виден в приполярных областях.

Плоскость низковысотных орбит наклонена к плоскости экватора (полярные и квазиполярные орбиты) с высотой порядка 200..2000 км над поверхностью Земли. Запуск легкого ИСЗ на низкую орбиту может быть осуществлен с помощью недорогих пусковых установок.

Принцип осуществления системы связи с использованием искусственных спутников Земли показан на рисунке 4.42. Здесь через a и b обозначены земные станции (ЗС), между которыми устанавливается связь, а прямые aa' и bb' , касательные к поверхности Земли в точках a и b , являются линиями горизонта этих пунктов. Поэтому спутник ИСЗ₁, движущийся по орбите MN, может одновременно наблюдаться со станций a и b при движении его по участку орбиты a' и b' . Следовательно, электромагнитные колебания, излучаемые антенной системой ЗС в точке a в направлении ИСЗ₁, могут быть приняты бортовой радиоаппаратурой спутника и после их усиления и преобразования по частоте направлены в сторону Земли, где будут приняты антенной ЗС в точке b . Антенны ЗС всегда должны быть ориентированы на ИСЗ. Следовательно, при движущихся ИСЗ антенны должны поворачиваться, осуществляя непрерывное "слежение" за перемещением спутника в пространстве.

Система радиосвязи при наличии бортовой аппаратуры называется системой с активной ретрансляцией сигнала или системой с активным спутником.

Рассмотрим структурную схему дуплексной связи между ЗС, размещенными в точках a и b при активной ретрансляции сигнала рис.4.43. Здесь сообщение C_1 подводится к модулятору M станции ЗС _{a} , в результате чего осуществляется модуляция колебаний с несущей частотой f_1 . Эти колебания от передатчика Π подводятся к антенне A_{a1} и излучаются в сторону ИСЗ, где принимаются бортовой антенной A ретранслятора. Затем колебания с частотой f_1 поступают на разделительный фильтр (РФ), усиливаются приемником Пр_1 , преобразуются к частоте f_2 , и поступают к передатчику Π_1 . С выхода передатчика колебания с частотой f_2 через РФ подводятся к бортовой антенне A и излучаются в сторону Земли. Эти колебания принимаются антенной A_{b2} станцией ЗС _{b} , подводятся к приемнику (Пр) и детектору (Дет), на выходе которого выделяется сообщение C_1 . Передача от ЗС _{b} к станции ЗС _{a} сообщения C_2 происходит по частоте f_3 аналогичным образом, причем на бортовом ретрансляторе осуществляется преобразование колебаний с несущей частотой f_3 в колебания с частотой f_4 .

Для передачи сообщений можно предложить и другой метод, при котором на борту спутника радиоаппаратура отсутствует. В этом случае сигналы, посланные из пункта A ,

отражаются поверхностью ИСЗ₁ в сторону Земли (в том числе и к пункту б) без предварительного усиления. Поэтому сигналы, принятые станцией б, будут значительно слабее, чем при наличии бортовой аппаратуры. В качестве пассивных спутников могут использоваться как специальные отражатели различной формы (в виде сферических баллонов, объемных многогранников и других), так и естественный спутник Земли – Луна. Пропускная способность подобных систем связи при современном уровне техники не превышает двух-трех телефонных сообщений.

В случае, когда спутник ИСЗ₂ движется по орбите m–n рис. с высотой настолько малой, что не может одновременно наблюдаться антеннами станций ЗС_а и ЗС_б (высота орбиты ниже точки пересечения линий горизонта aa' и bb'), и потому сигнал, принимаемый бортовой аппаратурой на ИСЗ₂ не может быть сразу передан на станцию б. Работа системы в этом случае может быть построена следующим образом: ИСЗ₂, пролетая над ЗС_а принимает сообщения которые после усиления подаются на бортовую аппаратуру памяти (например, записываются на магнитофонную ленту). Затем когда ИСЗ₂ будет пролетать над ЗС_б, включается в бортовой передатчик и происходит передача информации, принятой от ЗС_а. Включение передатчика может осуществляться подачей специального командного сигнала, излучаемого ЗС_б в момент появления ИСЗ в зоне видимости этой станции, или с помощью бортового программного устройства, учитывающего скорость движения спутника по орбите, ее высоту и расстояние между станциями. Такая система называется системой связи с памятью или системой с задержанной ретрансляцией. Система с активной ретрансляцией сигнала в зависимости от высоты орбиты и расстояния между станциями может быть выполнена как система с мгновенной (не задержанной) ретрансляцией сигнала (система в реальном масштабе времени) и как система с задержанной ретрансляцией.

Особый интерес представляет геостационарная орбита – круговая орбита, находящаяся в экваториальной плоскости ($i=0$) и удаленная от поверхности Земли на расстоянии около 36000 км. В том случае, когда направление движения спутника по такой орбите совпадает с направлением вращения Земли, спутник будет неподвижным относительно наземного наблюдателя (геостационарный спутник). Эта особенность, а также то, что ИСЗ находится от Земли на большом удалении, приводит к следующим важным преимуществам связи через геостационарный спутник: во-первых, становятся возможными передача и прием сигналов с помощью неподвижных антенных систем (то есть более простых и дешевых, чем подвижные) и, во-вторых, осуществление круглосуточной непрерывной связи на территории, равной примерно трети земной поверхности. Однако через геостационарный ИСЗ затруднительно осуществлять связь с

приполярными районами, расположенными на широтах выше $75^\circ \dots 78^\circ$, так как при этом существенно возрастают шумы на входе земных приемников.

В нашей стране на геостационарную орбиту выведены спутники связи типа "Радуга" и "Горизонт".

При движении ИСЗ по другим орбитам (не геостационарной) спутники будут перемещаться относительно наземного наблюдателя. В этом случае необходимы подвижные антенные устройства и специальная аппаратура, обеспечивающая слежение и наведение антенны на движущийся спутник. Системы связи с подвижными ИСЗ при соответствующем выборе орбит позволяют обеспечить связь с любыми районами земного шара, в том числе и с приполярными. При использовании подвижных ИСЗ связь между станциями, размещенными в точках а и б рис., может осуществляться лишь в течение времени, пока ИСЗ движется по участку орбиты $б' - а'$.

Обеспечение длительной непрерывной связи при сравнительно невысоких орбитах возможно лишь при увеличении числа ИСЗ рис 4.44. В этом случае на каждой земной станции должны быть установлены две антенны (A_1 и A_2), которые могут осуществлять передачу и прием сигналов с помощью одного из спутников, например ИСЗ₁, находящегося в зоне взаимной связи $б' - а'$. Когда ИСЗ₁ выедет из этой зоны, связь будет происходить через ИСЗ₂ с помощью антенн A_2 . При выходе ИСЗ₂ из зоны $б' - а'$ передача и прием сигналов должны осуществляться посредством ИСЗ₃ и антенн A_1 , направленных на этот спутник и так далее. Для получения непрерывной связи между станциями а и б расстояние между соседними спутниками должно быть меньше зоны $б' - а'$. Число ИСЗ при таком методе зависит от расстояния между пунктами связи и параметров орбиты.

При использовании ИСЗ можно применить ретрансляцию сигналов не только через один, но и через несколько спутников. При этом в случае низких орбит для непрерывной передачи сигналов на земных станциях необходимо иметь по две антенны.

На рис.4.44 показаны ИСЗ, движущиеся по часовой стрелке по одной низкой орбите, часть которой показана в виде дуги mn . Сигнал от станции а через антенну A_1 поступает на ИСЗ₄ и ретранслируется через ИСЗ₃, ИСЗ₂, ИСЗ₁ к приемной антенне A_1 станции б. Таким образом, в этом случае для ретрансляции сигнала используются антенны A_1 и сегмент орбиты, содержащий ИСЗ₄– ИСЗ₁. При выходе ИСЗ₄ из зоны, лежащей левее линии горизонта aa' , передача и прием сигнала будет вестись через антенны A_2 и сегмент, содержащий ИСЗ₅ – ИСЗ₂. Затем передача и прием сигналов будет

осуществляться антеннами A_1 и сегментом, состоящим из спутников ИСЗ₆ – ИСЗ₃ и так далее.

Использование ИСЗ, движущихся по орбитам с малой высотой, упрощает аппаратуру земных станций, так как при этом возможно снижение усиления земных антенн, мощности передатчиков и работа с приемниками, имеющими несколько большую эквивалентную шумовую температуру, чем в случае геостационарных спутников. Однако в этом случае увеличивается число спутников, и требуется управление их движением по орбите.

Другой вариант использования для ретрансляции сигналов нескольких ИСЗ приведен на рис.4.44. В этом случае с одного из группы спутников, движущихся по одной орбите, например ИСЗ₄, сигнал, излучаемый A_1 станцией "а", ретранслируется к геостационарному спутнику ИСЗ_Г, а затем принимается антенной А станции "б". При выходе ИСЗ₄ из области, лежащей левее линии горизонта aa' , непрерывная связь станции "а" с ИСЗ_Г будет осуществляться через антенну A_2 и ИСЗ₅, затем через A_1 и ИСЗ₆ и так далее. На станции "б" в этом случае достаточно будет иметь лишь одну антенну, направленную на ИСЗ_Г.

Поскольку ИСЗ может наблюдаться с большой территории на поверхности Земли, можно осуществить связь между несколькими ЗС через один общий ИСЗ. В этом случае спутник оказывается "доступным" многим земным станциям, поэтому такая система называется системой с многократным доступом (МД). В системах МД могут быть организованы как циркулярная связь между станциями (передача сообщений от одной станции нескольким станциям), так и одновременная дуплексная связь между всеми ЗС, использующими один общий бортовой ретранслятор, размещенный на ИСЗ. Система связи через ИСЗ с МД состоит из нескольких земных станций, находящихся в зоне взаимной связи через ИСЗ и использующих для связи друг с другом или для связи одной станции с несколькими станциями в любых сочетаниях общий ретранслятор на ИСЗ рис. 4.45. Отметим, что в системе с МД может быть также организована одновременная связь не со всеми станциями, а лишь с группой станций. В этом случае целесообразно использование бортовых антенн, имеющих узкие диаграммы направленности (большое усиление). Такие антенны управляются с Земли и могут направляться на нужную группу станций. Другим вариантом этой системы является коммутация бортовой аппаратуры на ту или иную бортовую антенну, имеющую фиксированное направление на определенные точки земной поверхности. Каналы связи, организованные через ИСЗ между земными станциями системы МД, могут быть разделены на две группы:

- постоянные (закрепленные) каналы, предназначенные для связи только между определенными земными станциями;
- непостоянные (незакрепленные) каналы, временно организуемые между различными станциями в зависимости от нужд потребителей.

Очевидно, что каналы первой группы позволяют организовать немедленную связь в любое время; каналы второй группы для организации связи требуют выполнения определенной процедуры, аналогичной той, которая характерна для обычной городской телефонной связи. Прежде чем осуществить передачу сообщений по каналам второй группы, необходимо: получить сведения о наличии свободного канала в системе (то есть получить подтверждение доступа в систему связи – в АТС это соответствует продолжительному тону); набрать адрес (номер) нужного корреспондента; убедиться, свободен ли канал к корреспонденту (то есть получить доступ к корреспонденту).

Очевидно, что в системах с закрепленными каналами из-за того, что часть каналов в некоторые интервалы времени будет использоваться, общее число каналов должно быть больше, чем в системах с незакрепленными каналами. Таким образом системы, с незакрепленными каналами являются более эффективными, однако они имеют и недостатки: во-первых, требуется дополнительно время для установления связи (надо найти свободный канал и с помощью вызывных и адресных сигналов осуществить необходимую коммутацию) и, во-вторых, возможен отказ в установлении немедленного соединения системы.

При любом виде каналов связи (закрепленных или незакрепленных) могут быть созданы многоадресные, одноадресные и смешанные сообщения и стволы.

При многоадресном построении групповых сообщений каждая земная станция излучает один ствол, в котором передается групповое сообщение, предназначенное для приема всеми земными станциями. Стволы, излученные всеми ЗС, пройдя через бортовой ретранслятор, принимаются на каждой ЗС. После демодуляции из каждого ствола выделяются те части групповых сообщений, которые предназначаются только для данной ЗС. Это выделение осуществляется либо на основании адреса данной станции, который передается перед сообщением, (при незакрепленных каналах), либо по предварительной договоренности о месте размещения каналов, предназначенных для данной ЗС в передаваемых групповых сообщениях (при закрепленных каналах).

Очевидно, что при многоадресном построении групповых сообщений в ВЧ стволах каждая ЗС должна принимать $n-1$ стволов, где n – число ЗС. Таким образом, в этом случае получается сравнительно простое передающее устройство, но существенно усложняется приемное оборудование ЗС.

При одноадресном построении для каждой ЗС формируется свое групповое сообщение и свой ВЧ ствол, в котором каждая передающая станция занимает соответствующее число каналов. Таким образом, каждая станция занимает определенное число каналов в $n-1$ стволах, проходящих через ретранслятор, каждый из которых предназначен только для одной определенной земной станции. В этом случае на каждой станции необходимо принять и демодулировать только один ствол, предназначенный для этой станции. Очевидно, что передающая аппаратура получается сложнее приемной.

При смешанном построении стволов на каждой земной станции осуществляется многоадресное формирование стволов, а на ретрансляторе производится переход от многоадресного к одноадресному построению стволов, то есть осуществляется перегруппировка каналов. Таким образом, при смешанном построении стволов получается упрощение как приемного, так и передающего оборудования земных станций, но усложняется аппаратура ретранслятора.

Существует три основных метода разделения общего канала связи: по частоте (ЧР), во времени (ВР), и посредством сигналов различающихся по форме (кодовое разделение каналов).

Многостанционный доступ с частотным разделением (МДЧР)

В этом случае для каждого ствола (то есть для каждой станции) выделяется определенная несущая частота (f_1, f_2, \dots, f_n). Разнос между парой соседних несущих выбирается таким, чтобы была исключена возможность взаимного перекрытия спектров при модуляции [рис.4.46](#). Отметим, что наиболее просто МДЧР реализуется в том случае, когда на земных станциях осуществляется частотная модуляция колебаний многоканальным сообщением с частотным разделением телефонных каналов (сокращенно – система ЧР ЧМ МДЧР). Таким образом, в этой системе на вход ретранслятора поступает сложный сигнал, представляющий собой систему n модулированных по частоте гармонических сигналов, являющихся несущими частотами всех ЗС. Прохождение такого сложного сигнала через общий бортовой ретранслятор, представляющий собой нелинейное устройство, приводит к следующим нежелательным явлениям:

- 1) возникновению переходных помех;
- 2) подавлению сигналов тех земных станций (то есть тех стволов), уровень которых на входе ретранслятора по каким либо причинам (например, вследствие замираний), окажется меньше уровней сигналов других станций. Это подавление может достигать до 6 дБ. Для устранения этого явления необходимы соответствующий контроль и регулировка уровней сигналов, излучаемых с каждой земной станции. Такая регулировка может

производится автоматически сопоставлением принятых с ретранслятора уровней сигналов с различных стволов (станций);

3) возникновению переходных помех между стволами и снижению выходной мощности ретранслятора из-за нелинейности амплитудной характеристики тех каскадов ретранслятора, которые являются общими для всех стволов, принятых с земных станций. Снижение выходной мощности обуславливается появлением продуктов нелинейности, на которые расходуется часть мощности ретранслятора.

Перечисленные явления приводят к тому, что при заданном значении переходных шумов в телефонных каналах с увеличением числа земных станций, то есть с увеличением числа стволов (несущих), одновременно усиливаемых ретранслятором, приходится снижать число телефонных сообщений, передаваемых на каждой несущей. Отсюда, чем большее число станций входит в систему МДЧР, тем меньшее число телефонных сообщений может быть передано. Расчеты и испытания реальных систем показывают, что ретранслятор, способный пропустить на одной несущей при ЧР ЧМ 700 телефонных каналов, в случае работы 8 станций в системе ЧР ЧМ МДЧР может пропускать 30 каналов на каждой несущей, то есть не более $8 \cdot 30 = 240$ каналов (снижение пропускной способности почти в 3 раза). При работе 16 станций в системе ЧР ЧМ МДЧР на каждой несущей можно передавать не более десяти телефонных сообщений. Таким образом, по сравнению с первоначальной пропускная способность составляет 23%. Однако, при таком режиме работы при использовании статистических особенностей телефонных сообщений, передаваемых на различных несущих, появляются новые возможности увеличения пропускной способности ретранслятора. Если во время пауз между словами, фразами и при молчании абонентов в такой системе подавлять излучение земных передатчиков на несущей частоте, то это существенно снизит нагрузку ретранслятора и позволит в 3...4 раза увеличить пропускную способность. Напомним, что подобное подавление несущих используется при построении аппаратуры частотного разделения: на выходе индивидуальных преобразователей уровень колебаний с поднесущими частотами стремятся сделать возможно меньшим.

Метод МДЧР с подавлением несущих использован в системе "Спэйд", реализованной в международной системе "Интелсат". В этой системе каждое телефонное сообщение преобразуется в восьмиразрядный сигнал ИКМ (64 кбит/с) и передается на отдельной ВЧ несущей методом четырехфазной ФМ. Полоса частот, занимаемая одним телефонным каналом, составляет 38 кГц, защитный интервал $\Delta f_{\text{защ}} = 7$ кГц рис. Описываемая система обеспечивает передачу в одном стволе шириной 36 МГц 800 незакрепленных каналов.

В отечественной аппаратуре "Градиент Н" также используется МДЧР, при котором каждое телефонное сообщение передается на отдельной несущей путем ЧМ с пиковой девиацией частоты, соответствующей измерительному уровню, равной 30 кГц. Число несущих частот в стволе составляет 200, разнос между соседними несущими равен 160 кГц. В отечественной аппаратуре "Группа" число несущих составляет 24; разнос между ними 1.35 МГц. Частотная модуляция в этом варианте аппаратуры осуществляется стандартной 12-канальной группой (спектр 12..60 кГц) с эффективной девиацией частоты 125 кГц. Таким образом, число передаваемых телефонных сообщений составляет $24 \cdot 12 = 288$.

Организация и планирование радиорелейных линий связи

Принципы построения радиорелейных линий прямой видимости

Радиосистема передачи, в которой сигналы электросвязи передаются с помощью наземных ретрансляционных станций, называется радиорелейной системой передачи.

Радиорелейные линии (РРЛ) превратились в эффективное средство передачи огромных массивов на расстояния в тысячи километров, конкурируя с другими средствами связи, в том числе кабельными и спутниковыми, удачно дополняя их.

Сегодня РРЛ стали важной составной частью сетей электросвязи – ведомственных, корпоративных, региональных, национальных и даже международных, поскольку имеют ряд важных достоинств, в том числе:

- возможность быстрой установки оборудования при небольших капитальных затратах;
- экономически выгодная, а иногда и единственная, возможность организации многоканальной связи на участках местности со сложным рельефом;
- возможность применения для аварийного восстановления связи в случае бедствий, при спасательных операциях и в других случаях;
- эффективность развертывания разветвленных цифровых сетей в больших городах и промышленных зонах, где прокладка новых кабелей слишком дорога или невозможна;
- высокое качество передачи информации по РРЛ, практически не уступающие ВОЛС и другим кабельным линиям.

Современные радиорелейные линии связи позволяют передавать телевизионные программы и одновременно сотни и тысячи телефонных сообщений. Для таких потоков информации требуются полосы частот до нескольких десятков, а иногда и сотен мегагерц и соответственно несущие не менее нескольких гигагерц. Известно, что радиосигналы на

этих частотах эффективно передаются лишь в пределах прямой видимости. Поэтому для связи на большие расстояния в земных условиях приходится использовать ретрансляцию радиосигналов. На радиорелейных линиях прямой видимости в основном применяют активную ретрансляцию, в процессе которой сигналы усиливаются.

Протяженность пролетов R между соседними станциями зависит от профиля рельефа местности и высот установки антенн. Обычно ее выбирают близкой к расстоянию прямой видимости R_0 , км. Для гладкой сферической поверхности Земли и без учета атмосферной рефракции:

$$R_0 = 3.57(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}),$$

где h_1 и h_2 – высоты подвеса соответственно передающей и приемной антенн (в метрах). В реальных условиях, в случае мало пересеченной местности $R_0 = 40 \dots 70$ км, а h_1 и h_2 составляют $50 \dots 80$ м. Принцип радиорелейной связи показан на рисунке 4.47, где отмечены радиорелейные станции трех типов: оконечная (ОРС), промежуточная (ПРС) и узловая (УРС).

Пролет (интервал) РРЛ - это расстояние между двумя ближайшими станциями.

Участок (секция) РРЛ - это расстояние между двумя ближайшими обслуживаемыми станциями (УРС или ОРС).

На ОРС производится преобразование сообщений, поступающих по соединительным линиям от междугородных телефонных станций (МТС), междугородных телевизионных аппаратных (МТА) и междугородных вещательных аппаратных (МВА), в сигналы, передаваемые по РРЛ, а также обратное преобразование. На ОРС начинается и заканчивается линейный тракт передачи сигналов.

С помощью УРС обычно решают задачи разветвления и объединения потоков информации, передаваемых по разным РРЛ, на пересечении которых и располагается УРС. К УРС относят также станции РРЛ, на которых осуществляется ввод и вывод телефонных, телевизионных и других сигналов, посредством которых, расположенный вблизи от УРС населенный пункт связывается с другими пунктами данной линии.

На ОРС и УРС всегда имеется технический персонал, который обслуживает не только эти станции, но и осуществляет контроль и управление с помощью специальной системы телеобслуживания ближайшими ПРС. Участок РРЛ ($300 \dots 500$ км) между соседними обслуживаемыми станциями делится примерно пополам так, что одна часть промежуточных станций входит в зону телеобслуживания одной УРС.

С помощью РРЛ решают следующие задачи:

1. Создание стационарных магистральных линий для передачи больших потоков информации на расстояния в несколько тысяч километров. В этих случаях применяются

системы большой емкости. Магистральные РРЛ обычно являются многоствольными. Ствол РРЛ – совокупность приемопередающих устройств, антенно-фидерных трактов и среды распространения.

2. Использование стационарных РРЛ для организации внутризональной связи. Эти линии имеют протяженность до 600...1400 км. Здесь применяют РРС средней емкости, которые в большинстве случаев рассчитаны на передачу телевизионных сигналов и сигналов радиовещания. Часто эти линии являются многоствольными и ответвляются от магистральных РРЛ.

3. Использование РРЛ в местной (районной и городской) сети связи. Здесь в основном применяют РРЛ малой емкости.

4. Обеспечение с помощью многоканальных РРЛ служебной связью железнодорожного транспорта, газопроводов, нефтепроводов, линий энергоснабжения и других систем, охватывающих большую территорию.

5. Обеспечение подвижной связи, используемой в случае ремонта или модернизации стационарных РРЛ и кабельных линий связи (КЛС), а также для других целей.

6. Соединение базовых станций и центров коммутации в составе системы подвижной связи.

Классификация РРЛ

Радиорелейные линии прямой видимости можно классифицировать по различным признакам и характеристикам.

По способу разделения каналов и виду модуляции несущей можно выделить:

1. РРЛ с частотным разделением каналов (ЧРК) и частотной модуляцией (ЧМ) гармонической несущей.

2. РРЛ с временным разделением каналов (ВРК) и аналоговой модуляцией импульсов, которые затем модулируют несущую частоту.

3. Цифровые радиорелейные линии (ЦРРЛ), в которых в отличие от предыдущего случая импульсы (отсчеты сообщения) квантуются по уровням и кодируются.

По диапазону рабочих (несущих) частот РРЛ подразделяют на линии дециметрового диапазона и сантиметрового диапазонов. В этих диапазонах, решением ГКРЧ от апреля 1996 года для новых РРЛ определены диапазоны 8 (7.9-8.4); 11 (10.7-11.7); 13 (12.75-13.25); 15 (14.4-15.35); 18 (17.7-19.7); 23 (21.2-23.6); 38 (36.0-40.50) ГГц.

Однако в России еще длительное время будут использоваться ранее построенные линии в диапазонах 1.5-2.1; 3.4-3.9; 5.6-6.4 ГГц. При этом возможна замена устаревающей аппаратуры на современные РРС.

Новые РРС используются также в диапазоне 2.3-2.5 ГГц. Прорабатывается возможность использования диапазонов 2.5-2.7 и 7.25-7.55 ГГц.

Чем ниже диапазон, тем большую дальность связи можно обеспечить при тех же энергетических характеристиках оборудования, но переход на высокие диапазоны позволяет расширить информационные полосы частот, то есть пропускную способность систем.

Повышение эффективности использования частотного ресурса диапазона стало одним из самых важных требований к аппаратуре РРЛ. В нашей стране насыщенность радиорелейной связи пока что много меньше, чем в зарубежных странах, где идет интенсивное освоение всех диапазонов до 40 ГГц. Эффективность использования частотного ресурса диапазона определяется следующими факторами:

1. Требуемой шириной полосы приемопередатчика, которая определяется объемом передаваемой информации, выбранным методом модуляции и уровнем стабилизации частоты передатчика.

2. Параметрами электромагнитной совместимости (ослабление чувствительности по побочным каналам приема, подавление внеполосных и побочных излучений).

3. Возможностями полного использования всего отведенного участка диапазона, которые обеспечиваются использованием в составе станции синтезатора частоты.

По принятой в настоящее время классификации радиорелейные системы (РРС) разделяют на системы большой, средней и малой емкости.

К радиорелейным системам большой емкости принято относить системы, позволяющие организовать в одном стволе 600 и более каналов ТЧ. Если радиорелейная система позволяет организовать 60-600 или менее 60 каналов ТЧ, то эти системы относят соответственно к системам средней и малой емкости.

Радиорелейные системы, допускающие передачу в одном стволе телевизионных сигналов изображения, а также сигналов звукового сопровождения телевидения и звукового вещания, относят к системам большой и средней емкости.

Исходя из скорости передачи информации, цифровые РРЛ можно разделить на две основные группы.

Низкоскоростные РРС. К ним относятся отечественные РРС и подавляющая часть зарубежных, предлагаемых в России (около пятидесяти из них имеют российский сертификат).

Подобные РРС рассчитаны на трафик до 16Е1 (или Е3). Отметим что еще несколько лет назад РРЛ с трафиком Е3 считались среднескоростными, но сегодня это станции "низового звена" цифровых сетей, обеспечивающие возможность изменения (иногда программным путем) пропускной способности в пределах от Е1 или 2Е1 до 8Е1 или 16Е1.

Стало просто не выгодно выпускать РРС специально для передачи лишь потоков Е1 или менее, за исключением ряда новых весьма специфических и редких пока применений (передача Е1 шумоподобными сигналами, распределительные станции для систем доступа и прочие).

Высокоскоростные РРС. Эти РРС в настоящее время создаются практически только на основе SDH-технологии и имеют скорость передачи в одном стволе 155.52 Мбит/с (STM-1) и 622.08 Мбит/с в одном стволе (STM-4).

Ранее к высокоскоростным относили РРС для передачи Е4 (то есть 139.254 Мбит/с) в сети PDH, но, новые РРЛ строятся уже на базе SDH-технологии, то есть со скоростью передачи 155.52 Мбит/с, хотя и обеспечивают возможность передачи 140 Мбит/с.

Высокоскоростные РРЛ применяются для построения магистральных и зонавых линий, в качестве радиовставок в ВОЛС на участках со сложным рельефом, для сопряжения ВОЛС (STM-4 или STM-16) с сопутствующими локальными цифровыми сетями, а также для резервирования ВОЛС и так далее.

Среди высокоскоростных РРС можно выделить две группы, отличающиеся по назначению, свойствам, конфигурации, конструкции и так далее.

Это, во-первых, многоствольные РРС, рассчитанные обычно на передачу до 6-7 потоков STM-1 по параллельным радиостолам, из которых 1 или 2 – резервные (конфигурация оборудования "3+1", "7+1" или 2·(3+1)). Протяженность РРЛ, как правило, велика – сотни километров и более.

Во-вторых, РРС, предназначенные для ответвлений от магистральных линий, необходимых при создании зонавых сетей и некрупных локальных ведомственных сетей, а также для передачи потоков STM-1 (155 Мбит/с) в условиях больших городов. Для этих ответвлений, как правило, используются диапазоны 7, 8, реже 11 ГГц, а для связи в больших городах – диапазоны 15, 18, 23 ГГц. По конфигурации это обычно двухствольные РРЛ на скорость STM-1, один из стволов – резервный (по схеме "1+1").

К этой группе высокоскоростных РРС, использующих технологию SDH, можно отнести РРС со скоростью передачи информации 51.84 Мбит/с (STM-0), которые иногда называют "среднескоростными". Они упрощают реализацию ответвлений от синхронных линий передачи, позволяют значительно увеличить возможности построения сетей SDH

различной конфигурации, ответвлять от ВОЛС или РРЛ информацию к сетям доступа пользователя, подключать к сетям SDN до 21 потока E1, а также потоки E3.

Структура радиосистем передачи

Под радиосистемой передачи (РСП) понимают совокупность технических средств, обеспечивающих образование типовых каналов передачи и групповых трактов первичной сети, а также линейного тракта, по которому сигналы электросвязи передаются посредством радиоволн в открытом пространстве рис.4.48.

С помощью современных РСП можно передавать любые виды информации: телефонные, телеграфные и фототелеграфные сообщения, программы телевидения и звукового вещания, газетные полосы, цифровую информацию и так далее.

Как и проводные системы передачи, подавляющее число РСП являются многоканальными. При этом обычно используются частотное или временное разделение сигналов.

Радиоствол включает в себя приемопередающее оборудование, антенно-фидерные тракты и среду распространения. Оконечное оборудование включает в себя модемы и аппаратуру сопряжения РРЛ и соединительных линий (усилители, корректоры, предискажающий и восстанавливающий контуры).

Многоствольные РРЛ

План распределения частот представляет собой отображение на частотной оси возможных значений рабочих частот (приема и передачи), а также (в некоторых случаях) частот гетеродинов.

Пропускная способность РРЛ может быть в несколько раз увеличена за счет образования новых стволов. Для этого на станциях устанавливают дополнительные комплекты приемопередающего оборудования, с помощью которых создаются новые высокочастотные тракты. Для сигналов разных стволов используются различные несущие частоты. Вся система многоствольной РРЛ организуется таким образом, чтобы все стволы работали независимо один от другого, а с другой стороны были взаимозаменяемы. Такой принцип позволяет обеспечить необходимую верность передачи сообщений в каждом стволе и повышает надежность работы всей линии в целом. В тоже время повышение пропускной способности РРЛ за счет многоствольной работы не приводит к пропорциональному росту стоимости линии, так как многие высоконадежные компоненты линии (антенны, станционные сооружения, опоры для подвеса антенн, источники электроснабжения и тому подобное) являются общими для всех стволов.

В качестве примера, поясняющего принцип организации многоствольной работы, рассмотрим вариант РРЛ из трех дуплексных стволов. На [рис.4.49](#) представлена упрощенная структурная схема основного оборудования трех станций этой линии: ОРС, ПРС, и УРС. Схема содержит: передатчики (П); приемники (Пр); оконечные устройства (ОУ), включающие модемы, усилители и другие элементы, осуществляющие преобразование групповых телефонных сообщений (ТФ) или компонентов сигналов телевизионного и звукового вещания (ТВ, ЗВ) в сигналы линейного тракта, а также обратное преобразование: системы полосовых фильтров (ПФ), каждый из которых имеет полосу прозрачности, соответствующую одному стволу при односторонней связи; в режиме передачи ПФ обеспечивает необходимую развязку передатчиков (у этих систем ПФ указан первый индекс 1, то есть они обозначены ПФ₁₁, ПФ₁₂, ПФ₁₃; изменение вторых индексов отражает смену частот приема и передачи в соответствии с двухчастотным планом); в режиме приема системы ПФ являются разделительными фильтрами: из суммарного ВЧ сигнала каждый полосовой фильтр системы выделяет сигнал одного ствола и направляет его в соответствующий приемник (у этих систем ПФ указан первый индекс 2, то есть они обозначены ПФ₂₁, ПФ₂₂, ПФ₂₃); развязывающие устройства (РУ), задачей которых является дополнительное уменьшение взаимовлияния трактов передачи и приема: ряд элементов этих трактов, таких, например, как фидеры и антенны (А), как правило являются общими. Аппаратура ввода-вывода сигналов (АВВ) обеспечивает решение специфических для УРС задач – разветвления и объединения информационных потоков.

В качестве примера использования схемы рассмотрим на [рис.4.49](#) передачу группового телефонного сообщения (ТФ) в одном направлении связи. Это сообщение формируется в аппаратуре объединения каналов (АОК) и по соединительной линии поступает на ОРС. С помощью ОУ и П сигнал ТФ преобразуется в ВЧ сигнал требуемой мощности, который через один из полосовых фильтров системы ПФ₁₁ и РУ поступает в антенну А и излучается в направлении ПРС. Здесь сигнал данного ствола проходит последовательно через элементы А, РУ, ПФ₂₂ и группу приемников. С помощью одного из Пр и ОУ ВЧ сигнал данного ствола может быть преобразован в сигнал ТФ и направлен в АВВ.

Здесь односторонние ТФ каналы могут быть распределены по группам, одна из которых, например, может быть направлена в ближайшую МТС, другие же могут войти в состав новых ТФ стволов и направлены по разным радиоканалам. Кроме того, возможна и транзитная передача через УРС полного сигнала организованного на ОРС ствола в том

или ином направлении связи. В этом случае сигналы с Пр на П могут идти в обход ОУ и АВВ.

Заметим, что при модуляции групповым телефонным сообщением того или иного параметра несущей в основном применяют два метода:

1. Модуляцию групповым сообщением колебаний промежуточной частоты (модулятор в ОУ) и транспонирование полученного таким образом в область ВЧ (в передатчике).

2. Непосредственную модуляцию групповым сообщением одного из параметров ВЧ несущей (модулятор – в передатчике).

Последний вариант используется, в частности, на цифровых РРЛ.

В настоящее время прием и передачу сигналов на станции на каждом направлении связи ведут в основном по общему антенно-фидерному тракту (обычно антенны и фидеры оказываются гораздо более широкополосными, чем сигналы одного ствола), а необходимую развязку приема и передачи обеспечивают не только фильтрами, но и различными невзаимными устройствами, то есть устройствами, свойства которых зависят от направления распространения электромагнитных волн. К этим устройствам относят, в частности, широко применяемые ферритовые вентили и циркуляторы. Кроме того, для обеспечения эффективной развязки трактов передачи и приема, а также соседних стволов, во многих современных РРС используют волны различной поляризации (горизонтальной и вертикальной). В этом случае в качестве РУ применяют, например, поляризационные селекторы. Схема на рис. построена с учетом рекомендованного МСЭ двухчастотного плана с группированием частот передачи и приема: группы передаваемых и принимаемых на каждой станции сигналов проходят через различные системы полосовых фильтров, например на РРС – это ПФ₁₂ и ПФ₂₁. Заметим, что конструктивно системы ПФ с различными первыми, но одинаковыми вторыми индексами, например ПФ₁₁ и ПФ₂₁, могут быть выполнены вполне идентично.

Организация декаметровых линий радиосвязи

При распространении декаметровых волн (КВ) энергия поверхностной волны сильно поглощается земной поверхностью, особенно над пересеченной местностью.

Явление дифракции на коротких волнах не играет заметной роли, поскольку эти волны поглощаются обычно раньше, чем станет ощутимой кривизна земли.

Величина напряженности поля поверхностной волны в пункте приема зависит от направленности передающей антенны. На более коротких волнах этого диапазона сказывается также высота подъема передающей и приемной антенн над землей. Дальность

распространения поверхностной волны обычно не превышает десятков километров, особенно для верхней половины диапазона (50-10 м).

Радиосвязь на коротких волнах (КВ) ионосферными лучами является весьма экономичным способом дальней связи. В нормальных условиях состояния ионосферы для отражения лучей КВ основной оказывается область F, а нижележащие области E и D создают вредное поглощение энергии КВ.

Дальность такой связи определяется углом, под которым волны падают на границу ионосферы (и отражаются от нее): чем больше угол падения, тем больше дальность скачка.

Экономичность связи достигается благодаря тому, что при правильном выборе длины волны поглощение энергии в ионосфере на КВ незначительно (гораздо меньше, чем на СВ), поэтому в пунктах возвращения отраженных волн к Земле напряженность их поля может оказаться достаточной для приема даже при сравнительно небольшой мощности передатчика.

При крутом падении 90° волны проходят сквозь ионосферу в космос. При некотором угле (критический угол для данной степени ионизации слоя и данной частоты) происходит полное внутреннее отражение, и луч направляется в ионосфере параллельно земной поверхности.

При углах, меньших критического, лучи возвращаются к Земле, и тем дальше от пункта излучения, чем меньше угол q .

При излучении касательно к Земле достигается наибольшая дальность скачка, составляющая приблизительно 4099 км. Необходимая дальность связи определяет тот угол q , под которым антенна должна излучать максимум энергии. Зная высоту отражающего слоя, легко определить этот угол простым геометрическим построением. Для того чтобы получить в намеченном пункте приема достаточную напряженность поля ионосферных КВ, нужно выполнить следующие два условия прохождения этих волн:

- во-первых, выбрать такую частоту, которая была бы ниже максимального значения, еще отражаемого слоем при требуемом угле возвышения;
- во-вторых, необходимо, чтобы энергия волн этой частоты не поглощалась главным образом вследствие интерференции поверхностных и пространственных лучей, замирания на коротких волнах обусловлены в основном интерференцией.

Таким образом, выбор частот для коротковолновой ионосферной связи резко ограничен сверху некоторой максимально применимой частотой по отражению и не столь резко снизу некоторой минимально применимой частотой по поглощению. Оба этих граничных значения частоты относятся к данным часам суток (к данной степени

ионизации области F) и к данной трассе (к углу возвышения q). Описанная нами картина распространения КВ позволяет пояснить разницу между «дневными» и «ночными» волнами.

Днем для дальних связей применяются наиболее короткие волны этого диапазона (примерно от 10 до 25 м); такие волны при малом угле возвышения способны отражаться от слоя F. Конечно, более длинные волны и подавно стали бы отражаться, но при высокой дневной ионизации в областях E и D потери в них были бы слишком большими и потребовалось бы невыгодное увеличение мощности передатчиков.

Ночью для дальних связей используется нижняя часть КВ диапазона (приблизительно от 35 до 100 м), так как при уменьшении ионизации слоя F более короткие волны от него не отразились бы даже при пологом падении. Потери же в нижних слоях ионосферы ночью не столь опасны, ибо область D отсутствует, а ионизация области E сильно уменьшается.

Волны, занимающие участок между дневными и ночными (примерно от 25 до 35 м), успешно применяются для связи в часы восхода и захода Солнца. Конечно, точное разграничение этих трех участков КВ диапазона невозможно, так как их границы зависят от сезона (лето-зима) и от фазы 11-летнего периода солнечной активности.

К недостаткам диапазона декаметровых волн относится наличие замираний и образование зоны молчания. Поверхностный луч не удается принять в этой зоне, потому что он оказывается сильно ослабленным. Пространственный луч не может быть направлен в зону молчания, так как для этого его надо послать под большим углом к земле, но тогда луч пронизет атмосферу и уйдет в космическое пространство. Ширина зоны молчания зависит от времени суток и длины волны: чем короче длина волны, тем шире зона молчания.

Другое явление, играющее существенную роль при организации радиосвязи на декаметровых волнах, - замирание. Объясняется это явление тем, что передающая антенна излучает волны не в единственном направлении, а в пределах более или менее широкого угла. Соответственно можно считать, что на ионосферу падает не один луч, а как бы пучок лучей. Лучи с различными углами возвышения отражаются при различной глубине проникновения в ионизированный слой и достигают поверхности земли в различных точках.

Вследствие многолучевого распространения и колебаний электронной концентрации отражающего слоя радиоволны, излученные передающей антенной, достигают точки приема, двигаясь по разным траекториям. В результате на приемную

антенну воздействует несколько колебаний с разными амплитудами и фазами, меняющимися во времени.

В пунктах приема обнаруживаются лучи, которые распространяются путем однократных или многократных отражений от ионосферы. Многолучевое распространение является также причиной возникновения эха, когда из-за разности хода в точку приема приходят лучи с запозданием на 0,2-1,0 мс. Такой вид искажений получил название ближнего эха. Иногда радиосигналы за счет многократных отражений обегают вокруг Земли, вызывая кругосветное эхо.

Декаметровая (коротковолновая) радиосвязь - это связь обусловленная возможностью распространения радиоволн КВ диапазона (2...30МГц) за счет однократного или многократного отражения от ионосферы.

Основные характеристики и принцип организации систем КВ радиосвязи определяются особенностями распространения радиоволн этого диапазона. Дальнее и сверхдальнее распространение происходит за счет ионосферных волн, т. е. путем однократного или многократного отражения от ионосферы (области атмосферы на 60...1200км). Основную роль в распространении играет отражающий ионосферный слой F_2 (слои F_1 и F_2 ионосферы находятся на высотах 170...240 и 230...400 км соответственно). Ионосферные слои D (на высоте 60...90км) и E (на высоте 100...140 км) являются поглощающими для волн КВ диапазона.

Интенсивность отражения и поглощения в ионосфере существенно зависит от времени суток и года, от рабочей частоты, а также от протяженности и географического положения КВ трассы. Используемая рабочая частота должна удовлетворять следующим двум условиям: она не должна быть больше максимально применимой (МПЧ) для заданной трассы (определяется состоянием слоя F_2); она должна быть такой, чтобы поглощение радиоволн в областях D и E не было чрезмерно большим.

Первое условие ограничивает диапазон используемых частот сверху. Оно является критичным, так как при невыполнении его радиоволны вообще не будут отражаться от слоя F_2 (они будут проходить сквозь его).

Второе условие ограничивает диапазон используемых частот снизу, так как с уменьшением частоты поглощение в ионосфере возрастает. Это условие не является критичным, поскольку потери при распространении могут компенсироваться мощностью передатчика.

С помощью специальных ионосферных карт составляется суточный график МПЧ для заданных трасс, а также аналогичный график изменения оптимальных рабочих частот

(ОРЧ) с учетом, что последняя составляет обычно 0,7...0,8 от МПЧ. Примерный вид графика для ОРЧ приведен на [рис.4.50](#).

Изменение ОРЧ определяется в соответствии с зависимостью состояния ионосферы от времени суток и года, а также фазы 11-летнего периода солнечной активности. Для поддержания достаточно надежной круглосуточной связи рекомендуется использовать лишь несколько рабочих частот. В приведенном на [рис.](#) примере суточный набор составляет три частоты (f_1, f_2, f_3). Время перехода с одной частоты на другую в течении суток определяется моментами (t_1, t_2, t_3, t_4) соответствующими ломанной кривой на рисунке. Существует условное деление радиоволн на дневные (10...25м), ночные (35...100м) и промежуточные (25...35м).

Связь в КВ диапазоне может осуществляться и поверхностным лучом. При этом, однако, имеет место сильное поглощение энергии радиоволны в земной поверхности. При мощности передатчика до сотен Ватт дальность связи поверхностным лучом не превышает 100 км.

Возможность связи в КВ диапазоне пространственным (отраженным от ионосферы) и поверхностным лучом на линии связи АВ отражена на [рис.4.51](#). Из рисунка видно, что может иметь место так называемая *зона молчания*. Она возникает если, поверхностный (прямой) луч уже поглощен почвой, а пространственный (отраженный) луч падает под углом превышающим критический для данной точки приема. От зоны молчания можно избавиться путем подбора рабочей частоты (изменяется поглощение в земной поверхности и проникающая способность волны в ионосфере) или изменением угла падения радиоволны на отражающий слой ионосферы (изменяется угол отражения).

Существенными недостатками систем КВ связи являются:

- 1.Значительный уровень атмосферных и взаимных помех. Обусловленные состоянием атмосферы и большим количеством радиосредств работающих в КВ диапазоне.

- 2.Быстрые (с периодом от десятых долей секунд до нескольких секунд) и медленные (с периодом в несколько минут) замирания. Первые вызываются интерференцией нескольких лучей пришедших в точку приема, а вторые, как правило, изменением состояния ионосферы.

Особенно негативно сказывается при приеме замирания, которые проявляются в виде мультипликативной помехи и приводят к существенному снижению помехоустойчивости (группирование ошибок и межсимвольная интерференция при передаче цифровых сигналов, трудность реализации когерентного приема и т.п.). К традиционным способам борьбы с замираниями относятся: разнесенный прием (по

времени, пространству и частоте); адаптивные методы передачи и приема (разрешение неопределенности относительно состояния КВ линии связи и адаптация аппаратуры к условиям связи). Проблема борьбы с замираниями и их проявлениями в значительной степени определяет те направления по которым ведется развитие систем КВ связи.

Достоинства системы КВ авиационной радиосвязи определяется прежде всего возможностью простой организации оперативной прямой связи практически на любые земные расстояния с подвижными объектами через труднодоступные пространства при помощи мобильных станций небольшой мощности. Кроме того, КВ связь характеризуется довольно простой восстанавливаемостью в случае ее нарушения. Роль этого вида связи существенно возрастает, если учесть уязвимость в военное время других систем обеспечивающих дальнюю и сверхдальнюю связь (тропосферных, метеорных, радиорелейных, спутниковых и т. п.)

Организация передающей сети эфирного звукового вещания

Звуковым вещанием называют процесс циркулярной передачи разнообразной звуковой информации широкому кругу территориально рассредоточенных слушателей посредством специальной совокупности технических средств. Основной задачей художественного вещания является своевременное на высококачественном уровне доведение до слушателей программ звукового вещания.

Звуковое вещание – передача звуковой информации общего назначения широкому кругу территориально рассредоточенных слушателей.

Передача – отдельно законченная в тематическом отношении информация.

Программа – совокупность передач, распределяемая по предназначенным для этого каналам.

Передачи могут быть речевыми, музыкальными и смешанными. К смешанным относят литературно-драматические передачи и художественные монтажи, в которых речь сопровождается музыкальным фоном или отдельными музыкальными вставками. Характер передачи определяет требования к студиям, где происходит их формирование, а также к каналам связи, соединяющим студии со слушателями.

Вот уже более 100 лет, как звуковое вещание стало развиваться, и за этот период пройден огромный путь от маленькой Нижегородской радиолaborатории построенной в 1918г. до мощных радиовещательных передатчиков. Одной из основных задач техники звукового вещания в настоящее время является повышения качества. Наиболее реальный путь её решения – использование цифровых методов обработки и передачи сигналов. Уже

разработаны и используются цифровые устройства формирования программ и цифровые каналы связи.

Организационная структура системы звукового вещания представлена на [рис.4.52](#). Подготовкой, формированием и выпуском программ звукового вещания занимается Гостелерадио и его органы на местах, оно имеет центры формирования программ (радиодома), в которых производится подготовка, формирование и выпуск программ звукового вещания.

Готовят программы редакции, специализированные по типу передачи и объединенные в главные редакции ГР информации, пропаганды, литературно-драматического вещания, музыкального вещания для молодёжи, детей и юношества и др. Главная редакция осуществляет организацию и планирование программ - от составления дневных и недельных программ до их выпуска. Отдел выпуска ОВ организует передачу программ. Наблюдение за техническим качеством передач возложено на отдел контроля ОК.

Передачи могут вестись в записи или непосредственно (прямые передачи). Прямые передачи составляют 5÷10% от общего объёма. Это преимущественно актуальные передачи с места событий, трансляции из театров, стадионов, дикторский текст. Применение предварительной записи позволяет автоматизировать процесс выпуска программ и повысить качество вещания.

Формирование и доведения программы до слушателей осуществляется с помощью специального комплекса технических средств, образующих электрический канал звукового вещания (ЭКЗВ). По ЭКЗВ сигналы звукового вещания передаются с выхода микрофона до антенны передатчика или абонентской розетки тракта проводного вещания. Электрический канал звукового вещания состоит из трех различных последовательно соединённых трактов: формирование программ (ТФП), первичного распределения программ (ТПРП) и тракт вторичного распределения программ (ТВРП) [рис.4.53](#). Совокупность технических средств ТПРП и ТВРП составляет вещательную сеть.

Тракт формирования программ представляет собой часть ЭКЗВ, которая начинается на выходе микрофона и заканчивается на выходе центральной аппаратной радиодома (радиотелецентра). Радиодом является головным звеном системы звукового вещания, и поэтому средства, составляющие ТФП, имеют наиболее высокие параметры качества.

Типовой ТФП состоит из аппаратно-студийных комплексов АСК, вещательной аппаратной ВА, центральной аппаратной ЦА, трансляционной аппаратной ТА и аппаратных звукозаписи АЗ. Входы типового ТФП, рассчитаны на подключение

источников сигнала, имеющий низкий (-30 ÷ -70дБ) либо высокий уровень (-12 ÷ +12дБ). Низкие уровни сигнала свойственны микрофонным трактам, сигналы с высоким уровнем поступают с выходов магнитофона, трансляционных пунктов, междугородних каналов звукового вещания.

Программы создаются в аппаратно-студийном комплексе радиодома, состоящем из нескольких студий и студийных аппаратных. Однако, как правило, в АСК не производится полное формирование программ, а создаются только их фрагменты, которые записываются. В каждом радиодоме имеется фонотека, из которой можно взять записи, требуемые для данной программы. Отдельные фрагменты программы можно получить извне от трансляционных пунктов, оборудованных в концертных залах, театрах, на стадионах данного города и по междугородным каналам звукового вещания МКЗВ из других радиодомов. Для приёма этих фрагментов программ в радиодоме предусмотрена трансляционная аппаратная. Она формируется из отдельных фрагментов вещательных программ в вещательной (программной) аппаратной. Программы, сформированные в ВА, поступают в центральную аппаратную для коммутации потребителям. Из служб радиодома сигналы ЦА подаются в аппаратные звукозаписи и отдел технического контроля ОТК. Технический контроль программ производится непрерывно.

На выходе ЦА радиодома начинается тракт первичного распределения программ ТПП. По соединительной линии СЛ сигналы из ЦА поступают в коммутационно-распределительную аппаратную КРА.

Тракт вторичного распределения программ представляет собой часть ЭКВЗ, предназначенную для передачи программ непосредственно слушателям. Таким образом, доведения программ непосредственно до слушателя осуществляется двумя способами:

- с помощью радиовещательных станций;
- по системе проводного вещания.

Чаще всего оба способа используют одновременно, так как каждый из них имеет свои преимущества и недостатки.

Достоинством радиовещания являются многопрограммность и большая дальность действия. Система проводного вещания в городах и ряде районных центров обеспечивает передачу трех программ (обычно первую и вторую центральные и одну местную) при большей по сравнению с радиовещанием надежности в работе, а абонентское устройство проводного вещания дешевле радиоприемника.

Организация сети проводного звукового вещания

Системой проводного вещания называется комплекс устройств, предназначенный для доведения вещательных программ по проводам большому числу слушателей. Проводное вещание осуществляют с помощью узлов проводного вещания (УПВ). Оборудование УПВ делится на станционное, линейное и абонентское. Станционные устройства служат для усиления сигнала источника программы до требуемого значения, а также для преобразования его в удобную для передачи форму. Станции содержат усилительные, передающие и другие радиотехнические устройства. Линейное оборудование, образующее распределительную проводную сеть, состоит из различных линий (воздушных, кабельных, составных) и линейных трансформаторов. Абонентская (приемная) часть состоит из абонентских устройств (АУ), включающих громкоговорители, абонентскую проводку, ограничительные резисторы.

УПВ классифицируются по способу питания распределительных сетей, принципу построения и числу передаваемых программ. УПВ, в котором распределительная сеть питается от усилительных устройств, сосредоточенных в одном станционном сооружении построены по централизованной схеме. В этих УПВ упрощается задача энергоснабжения станции и обслуживания оборудования. Эксплуатация одной крупной станции экономически более выгодна. Недостатки схемы — сложность распределительной сети и меньшая ее эксплуатационная надежность. При децентрализованном построении УПВ мощные усилительные устройства в пределах обслуживаемой территории рассредоточены в различных районах на нескольких усилительных станциях. Питание распределительной сети от нескольких источников повышает ее надежность, так как выход из строя одной станции приводит к нарушению работы лишь части системы ПВ. Построение распределительной сети проще. Недостатки — сложная организация энергоснабжения и большая стоимость станционных сооружений.

По принципу построения различают одно-, двух- и трехзвенные сети проводного вещания. Однозвенными называют сети, у которых АУ подключаются непосредственно к распределительным проводным линиям (РПЛ). В этом случае от источника вещательных программ (ИВП) через соединительную линию (СЛ) сигнал поступает на вход мощного усилителя (МУ), питающего распределительную сеть. В однозвенных сетях распределительные линии состоят из абонентских линий (АЛ).

Номинальное напряжение звуковой частоты на входе АУ равно 30 В. Двухзвенная сеть [рис.4.54](#) включает линии более высокого напряжения (в городах 240 или 120 В) — распределительные фидеры $P\Phi$, с помощью которых энергию вещательных сигналов можно передавать на далекие расстояния. К каждому распределительному фидеру

абонентские линии подключают через понижающие абонентские трансформаторы *АТ*. Трехзвенная сеть рис.4.55 содержит дополнительные звенья: высоковольтные магистральные фидеры *МФ*, номинальное рабочее напряжение на которых равно 480, 680 или 960 В, и трансформаторные подстанции *ТП*. Фидерные линии с высоким номинальным напряжением вещательного сигнала включают для уменьшения потерь в распределительных сетях ПВ. *ТП* предназначены для понижения напряжения, поступающего с *МФ* на распределительные шины *РФ*, до 240 и 120 В.

Применение той или иной схемы или сети ПВ зависит от величины и конфигурации обслуживаемой территории, количества и распределения по территории абонентских устройств, экономических и эксплуатационных показателей. Различают городские и сельские однопрограммные и многопрограммные УПВ.

Рекомендуют следующее построение городской сети ПВ: централизованная система с однозвенной сетью для небольших населенных пунктов, отдельных зданий (санатории, дома отдыха и т. п.) и промышленных предприятий; централизованная система с двухзвенной сетью для небольших городов с населением 50—100 тыс. чел. и числом абонентов 10—20 тыс.; децентрализованная система с двухзвенной (или трехзвенной) сетью для городов с населением до 150—200 тыс. чел.; децентрализованная система с трехзвенной сетью во всех городах с населением свыше 200—250 тыс. чел.

Тип распределительной сети выбирают на основе технико-экономического сравнения вариантов. При проектировании городских сетей ПВ следует учитывать следующие особенности:

магистральные фидеры трехзвенной сети подключают к мощному вещательному усилителю через фидерный повышающий трансформатор, нагрузкой МФ служит трансформаторная подстанция *ТП*;

нагрузка одного МФ составляет 10—20 тыс. АУ, длина каждого МФ в среднем 1,7—7,6 км;

распределительные фидеры по величине затухания и нагрузки должны мало отличаться друг от друга, длина каждого *РФ* 1,5—6 км;

нагрузка на один *РФ* в городах с малой плотностью населения составляет 500 АУ, в городах с большой плотностью населения — 1500—2000 АУ, оптимальное число *РФ*, питаемых от каждой *ОУС* или *ТП*, 6—10;

суммарное затухание напряжения в распределительной сети от выхода мощного вещательного усилителя до розетки, установленной у абонента на частоте 1000 Гц, не должно превышать 4 дБ, при этом для *МФ* допустимое затухание 1—2 дБ, для *РФ* — 2—3 дБ и для *АЛ* — 1 дБ;

линии звукофикации улиц строят в тех случаях, когда мощные громкоговорители нельзя включить в общую сеть, затухание напряжения по длине линий уличной звукофикации не должно превышать 6 дБ;

неравномерность частотной характеристики распределительной сети в рабочем диапазоне частот (60—9500 Гц для линий первого класса, 100—6000 Гц для линий второго класса) не должна превышать 4 дБ.

Для большинства городов среднее число *ОУС* не превышает пяти. Среднее число магистральных рабочих фидерных линий, выходящих из одной *ОУС*, равно трем и лишь в отдельных случаях — шести. В городах с децентрализованной трехзвенной сетью *ПВ* средняя установочная мощность низкочастотных усилителей *ОУС* 15 кВт.

Схема децентрализованного городского *УПВ* с трехзвенной распределительной цепью показана на рис. . Мощные усилительные устройства в пределах обслуживаемой территории рассредоточены на нескольких усилительных станциях, называемых опорными *ОУС*. Подача программ на все *ОУС*, дистанционное управление и контроль за их работой и работой трансформаторных подстанций *ТП* осуществляются с центральной станции проводного вещания *ЦСПВ* по соединительным линиям *СЛ* и соединительным линиям технического контроля *СЛТК*, в качестве которых используют телефонные пары городской телефонной станции (ГТС). Часто одну из *ОУС* территориально совмещают с *ЦСПВ*. Образованный комплекс называют центральной усилительной станцией (*ЦУС*). Каждая *ОУС* магистральными фидерами *МФ* соединена с несколькими трансформаторными подстанциями *ТП* звуковой частоты. Система имеет возможность резервирования, т.е. каждая *ТП* получает питание от двух *ОУС*. При повреждении одного *МФ* автоматически происходит переключение *ТП* на резервный магистральный фидер *РМФ*. При выходе из строя *ОУС* происходит переключение *ТП* на другие *ОУС*. Если какая-нибудь *ТП* находится на большом расстоянии от *ОУС*, то строят резервную усилительную станцию (блок-подстанцию *БП*), которая включает и подает энергию вещательного сигнала на *ТП* в том случае, когда основная фидерная линия или *ОУС* выходят из строя.

В большинстве городов систему *ПВ* строят по радиальному принципу, т.е. каждая *ОУС* с помощью *СЛ* непосредственно соединяется с *ЦСПВ*. Эта система наиболее проста и применяется при малом числе управляемых *ОУС*, расположенных на небольшом расстоянии от *ЦСПВ*. В крупных городах число *ОУС* велико, расстояние между *ОУС* и *ЦСПВ* часто превышает допустимую длину *СЛ*, поэтому включают промежуточные усилители. В этом случае *УПВ* выполняют по радиально-

узловому принципу, что обеспечивает подачу программ вещания как непосредственно с *ЦСПВ* на *ОУС*, так и через соседние усилительные станции.

При таком способе подачи программ резко уменьшается количество *СЛ*, связующих *ЦСПВ* и *ОУС*, и увеличивается максимально допустимое расстояние *ЦСПВ* — *ОУС*, так как программа на удаленные *ОУС* поступает после промежуточного усиления на более близко расположенные к *ЦСПВ* и *ОУС*.

Двух- и трехзвенная сети ПВ оборудуют устройствами дистанционного управления и контроля, блокировки и защиты, с помощью которых можно с *ЦСПВ* (или *ЦУС*) включать *ОУС* (УП), переключать рабочие и резервные фидеры, контролировать качество передачи вещательного сигнала вплоть до входа *РФ*. Комплекс коммутационно-распределительной аппаратуры управления и контроля содержит статив управления и контроля трансформаторными подстанциями (УКТП), устанавливаемый на *ЦУС*; статив выходной коммутации (СВК), устанавливаемый на *ОУС*; статив трансформаторной подстанции (СТП) и статив распределительных фидеров (СТР), устанавливаемые на *ТП*. Стативы СВК, СТП, СТР позволяют полностью автоматизировать работу сети ПВ.

Комплекс из стативов СВК-СТП обеспечивает дистанционное управление *МФ* и контроль электрического состояния фидеров, автоматическое переключение на резервный фидер в случае аварии рабочего. Схема защиты *МФ* срабатывает при обрыве одного или двух проводов, заземлении одного провода, трехкратной перегрузке и коротком замыкании линии, а также если величина сопротивления заземления каждого из проводов фидера меньше 3 кОм. Во всех указанных случаях питание фидера автоматически отключается и подключается резервный фидер. СТР служит для распределения энергии вещательных сигналов от *ТП* по *РФ* и сигналов I программы по линиям уличной звукофикации.

Распределительная сеть в городах выполняется на базе воздушных линий, изготовленных из стальных или биметаллических проводов. Магистральные фидерные линии в подавляющем большинстве случаев однородные. Лишь в отдельных случаях в разрыв *МФ* включают кабельные вставки. Для повышения эксплуатационной надежности, улучшения качественных показателей, а также с эстетической точки зрения воздушные линии заменяют кабельными сетями и линиями.

Организация передающей сети эфирного телевизионного вещания

Структура передающей сети телевизионного вещания

Для ТВ вещания используются метровый и дециметровый диапазоны волн электромагнитных колебаний, соответствующие очень высоким и ультравысоким частотам, которые иногда с целью удобства называются ультракороткими волнами или УКВ.

Сигналы ТВ программ передаются абонентам (телезрителям) в основном с помощью наземной ТВ передающей сети, систем кабельного телевидения (СКТВ) и системы непосредственного ТВ вещания (НТВ), использующей связные искусственные спутники Земли (ИСЗ), находящиеся на геостационарной орбите (ГСО), а также сотовыми системами телевидения.

Наземная ТВ передающая сеть состоит из телецентров, работающих совместно с радиотелевизионными передающими станциями (РТПС), ТВ ретрансляторов и технических средств передачи ТВ сигналов на большие расстояния. Телецентры представляют собой комплексы радиотехнической аппаратуры, помещений и служб, необходимых для создания ТВ программ. С телецентров сформированные ТВ сигналы непосредственно передаются на РТПС. К настоящему времени в России используются 350 РТПС с передатчиками мощностью 1кВт и более, причем 300 из них являются многопрограммными, и 10000 РТПС с передатчиками мощностью менее 1кВт, из которых около 4000 многопрограммные. Основным назначением ТВ ретрансляторов является обеспечение более равномерного покрытия густонаселенной территории ТВ вещанием. ТВ ретрансляторы требуются, как правило, в двух случаях: во-первых, вне зоны уверенного приема основной мощности РТПС и, во-вторых, внутри зоны в местах, в которых по географическим причинам сигнал основной станции ослаблен и не обеспечивает удовлетворительного качества приема. Около 1000 ретрансляторов имеют передатчики более 1кВт, а 12000 – передатчики мощностью менее 1кВт. Причем около 10000 ретрансляторов имеют спутниковые приемные антенны.

Распределение сигналов ТВ программ на большие расстояния по территории России осуществляется с помощью разветвленной сети радиорелейных линий (РРЛ) и спутниковых систем связи Орбита, Экран, Москва. Причем наземная распределительная сеть включает в себя свыше 300 тысяч каналокilометров РРЛ.

В состав современной сети ТВ вещания нашей страны входят также около 70 млн. телевизоров.

Организовано ТВ вещание по зональному принципу с поочередным повторением передачи центральных программ для каждой из пяти существующих зон со сдвигом во времени на два часа.

С целью классификации выделенная для ТВ вещания полоса частот электромагнитных колебаний условно разбита на пять частотных диапазонов, в которых может быть размещено 73 радиоканала;

1 диапазон 48,5 ÷ 66 МГц (радиоканалы 1 и 2);

2 диапазон 76 ÷ 100 МГц (радиоканалы 3 ÷ 5);

3 диапазон 174 ÷ 230 МГц (радиоканалы 6 ÷ 12);

4 диапазон 470 ÷ 582 МГц (радиоканалы 21 ÷ 34);

5 диапазон 582 ÷ 960 МГц (радиоканалы 35 ÷ 82).

Следует заметить, что между вторым и третьим радиоканалами расположена полоса частот, отведенная для ОВЧ ЧМ, т.е. для УКВ ЧМ вещания, равная 7 МГц (66 ÷ 73 МГц).

Частоты f^H , f^B , ограничивающие полосу любого дециметрового канала, и частота несущей изображения $f^{\circ\text{ИЗ}}$ радиоканала могут быть определены по номеру канала N^K из следующих соотношений:

$$f^H = 470 + (N^K - 21)8 = 302 + 8N^K, \text{ МГц};$$

$$f^B = 470 + (N^K - 20)8 = 310 + 8N^K, \text{ МГц};$$

$$f^{\circ\text{ИЗ}} = 470 + (N^K - 21)8 + 1,25 = 303,25 + 8N^K, \text{ МГц}.$$

Выбор нижней границы 1 диапазона определяется тем, что для упрощения конструкции ТВ приемников и снижения частотных искажений при выделении полного ТВ сигнала из радиосигнала необходимо, чтобы несущая частота изображения в несколько раз превышала максимальную частоту спектра модулирующего ТВ сигнала $f^B \cong 6,25$ МГц. Кроме того, частотный диапазон примерно до 40 МГц практически полностью занят для целей радиовещания и радиосвязи и других радиослужб. Верхняя граница 5 частотного диапазона ограничена длинами радиоволн, на которых начинают сказываться значительное их поглощение в атмосфере и влияние ее неоднородностей - дождя, тумана и т.д.

Планирование передающей телевизионной сети

Планирование передающей ТВ сети заключается в определении места расположения РТПС и выборе их параметров (мощность передатчиков, высота подвеса антенн, частота излучения), чтобы обеспечивались удовлетворительные условия приема в заданной полосе без взаимных помех между ТВ станциями. При этом следует иметь в виду, что ТВ передающие станции и радиоретрансляторы большой мощности имеют радиус действия обычно $50 \div 70$ км, а ретрансляторы малой мощности излучают ТВ сигналы в радиусе $10 \div 20$ км.

Наиболее экономичное планирование передающей ТВ сети достигается в том случае, если ТВ передающие станции размещаются по углам равностороннего треугольника [рис.4.56](#). В этом случае каждый ТВ передатчик, имеющий передающую антенну с круговой диаграммой направленности, обеспечивает возможность приема ТВ сигнала на расстоянии $r < r_0$, где r_0 - средний радиус зоны прямой видимости. Из [рис.4.56](#) видно, что для сплошного покрытия территории площадью S ТВ вещанием с помощью нескольких ТВ радиопередатчиков, имеющих одинаковый средний радиус зоны обслуживания r , расстояние между соседними ТВ радиопередатчиками нужно выбирать из условия $r^n \leq \sqrt{3} r$. При этом образуются области, в которых возможен уверенный прием одновременно от нескольких ТВ радиопередатчиков. Радикальным средством ослабления взаимных помех для телевизоров, расположенных в этих областях, является работа соседних ТВ радиопередатчиков в разных ТВ радиоканалах. При этом учитывается избирательность ТВ приемников по соседним каналам приема.

Из [рис.4.56](#) следует, что каждый элементарный треугольник площадью ΔS обслуживается тремя радиопередатчиками. При этом каждый радиопередатчик является общим для шести треугольников. Следовательно, если заданную территорию площадью S можно условно разбить на k треугольников площадью ΔS , то количество радиопередатчиков n , необходимых для обеспечения ТВ вещанием этой территории, равно

$$n = 3k/6 = k/2.$$

Для уменьшения числа радиоканалов необходимых для охвата ТВ вещанием заданной территории, надо уменьшить расстояние между передатчиками, работающими в одном радиоканале и увеличить радиус вещания каждой ТВ станции.

При планировании сети ТВ вещания, а именно при конкретном распределении номеров радиоканалов для соседних передающих станций с целью исключения

заметности взаимных помех должны соблюдаться нормы на значения защитного отношения A , которое определяется выражением

$$A = U_c / U^n,$$

где U_c - напряжение полезного сигнала на антенном входе телевизора; U^n - напряжение сигнала помехи. Следовательно, для сохранения высокого качества воспроизводимых ТВ изображений отношение полезного сигнала к мешающему на входе ТВ приемника должно быть не ниже защитного отношения. Наибольшее защитное отношение требуется при работе ТВ передатчиков в совмещенном (одинаковом) радиоканале. Например, величина защитного отношения по совмещенному радиоканалу должна быть такой, чтобы полезный сигнал на входе телевизора был больше мешающего не менее, чем на 40 дБ. Для обеспечения такого значения защитного отношения на практике необходимо удалять друг от друга ТВ радиопередатчики, работающие в одинаковых радиоканалах, на очень значительные расстояния.

В результате планирования передающей ТВ сети, выполненного как с соблюдением норм на защитные отношения, так и с недопущением взаимных помех установлено, что имеющихся частотных радиоканалов едва хватает для обеспечения большинства районов страны двумя-тремя ТВ программами (четыре-пять ТВ радиоканалов могут быть выделены лишь для отдельных городов). В то же время система ТВ вещания должна обеспечить повсеместный и одновременный прием не менее 5÷10 ТВ программ, в том числе местных и региональных.

В мировой практике наметилось два основных пути построения сети многопрограммного ТВ вещания.

Первый путь - это создание систем кабельного ТВ различной емкости с подачей на них ТВ сигналов нескольких десятков программ путем приема от ближайших ТВ передатчиков или передачи по радиорелейным, кабельным и спутниковым линиям связи. Предполагается также и создание специальных ТВ программ, в том числе и платных.

Второй путь - это внедрение спутниковых систем непосредственного ТВ вещания в диапазоне 12 ГГц с установкой у абонента дополнительного приемно-передающего устройства для подачи стандартного ТВ сигнала на вход телевизора.

Ближайшее будущее большинства систем ТВ вещания заключается в переходе на цифровые технологии. Первыми примерами цифровых систем передачи ТВ сигналов явились спутниковые линии связи, в которых стал использоваться стандарт сжатия спектра ТВ сигналов MPEG-2, позволяющий по одному стандартному спутниковому

каналу передавать несколько ТВ программ при условии их приема, в первую очередь, головными станциями систем кабельного телевидения.

Наконец, наметилась тенденция к внедрению наземного цифрового ТВ вещания. Пионерами в данной области ТВ вещания являются США, где Конгрессом принято решение о переходе на полностью цифровую систему вещательного телевидения высокой четкости с прогрессивной разверткой (на 1000 строк) с уплотненным радиоканалом. Создатели системы считают, что она должна стать единой мировой системой телевидения. Предполагается, что Канада, Япония, а также ряд европейских стран присоединятся к этой системе в ближайшее время.

Введение в эксплуатацию этой ТВ системы обеспечит значительное улучшение качества изображения и звукового сопровождения, позволит телевидению эффективно взаимодействовать с различными цифровыми системами связи, а также с компьютерными сетями. Цифровое телевидение во многом будет определять качество жизни людей в XXI веке.

Организация систем кабельного телевидения

На первом этапе развитие систем коллективного телевизионного приёма (СКТП) происходило, в основном, в направлении совершенствования используемого оборудования и практически не затрагивало схем построения сетей телевизионного приёма; системы строились по принципу - одна антенна на один подъезд. По мере расширения территорий, т.е. увеличения числа жилых и общественных зданий, обслуживаемых СКТП, всё чаще отмечались случаи неудовлетворительного качества телевизионного изображения: приёмные антенны оказывались либо в зоне затенения, где напряжённость поля была недопустимо низкой, либо в зоне с высокой интенсивностью запаздывающих сигналов, обусловленной отражениями электромагнитных волн в тракте распространения. Ситуация особенно осложнялась в связи с застройкой городов зданиями, резко различавшимися по высоте, что привело к образованию «пораженных» зон, охватывающих целые кварталы.

Проведенные исследования показали, что наиболее эффективным решением возникшей проблемы является создание крупных систем коллективного телевизионного приёма (КСКТП), каждая из которых рассчитана на обслуживание от одной антенной установки, расположенной в точке с благоприятными условиями приёма, нескольких тысяч абонентских устройств.

Развитие техники коллективного телевизионного приёма связано с созданием систем кабельного телевидения (СКТ), каждая из которых может обслуживать до

нескольких десятков тысяч абонентов. Использование таких систем позволяет решить вопросы обеспечения качественной доставки программ в районах со сложными условиями приёма, а также обеспечить передачу абонентам дополнительной информации - телетекстовой, каналов спутникового вещания.

Системы коллективного телевизионного приёма в зависимости от объёма охватываемых абонентов разделяют следующим образом:

- системы коллективного телевизионного приёма;
- крупные системы коллективного телевизионного приёма;
- системы кабельного телевидения.

При этом принимается, что СКТП рассчитаны на обслуживание абонентов одного подъезда или здания, КСКТП - нескольких зданий, СКТ - большого жилого массива. К отличительным особенностям СКТ следует отнести также технико-экономическую целесообразность использования в них наряду с эфирным приёмом в стандартных каналах ТВ и ЧМ вещания других видов программ (спутниковых, локальных видеостудий и пр.). Следует отметить, что необходимым условием успешного развития СКТ является выбор такой схемы построения, при которой можно использовать в качестве низших звеньев распределительных сетей линий КСКТП и СКТП без существенных переделок, иначе реализация СКТ в районах со сложившейся застройкой связана с большими дополнительными капитальными затратами.

Наибольшие искажения (или затухания) сигнала возникают на участке распространения от передающей антенны (телецентра) до приёмной (абонента). Выбор места установки приёмных антенн, улучшение их параметров не всегда приводят к желаемому результату. Решить проблему качественного приёма сигнала системой кабельного телевидения можно созданием специальных линий подачи программ на головные станции (ГС) СКТ, в частности - с излучением в СВЧ-диапазоне или с использованием волоконно-оптических линий связи (ВОЛС). Однако такие решения оправданы только при высокой насыщенности крупных городов системами кабельного телевидения.

Значительна роль систем кабельного телевидения при распределении программ, получаемых через спутниковые системы вещания. Совмещение приёмных установок с эфирными ретрансляторами сопряжено с ухудшением параметров сигнала, обусловленным отражением в тракте распространения радиоволн от ретранслятора до приёмной антенны абонента. Устранить этот недостаток можно использованием СКТ для распространения ТВ-программ, полученных со спутникового ретранслятора.

Системы кабельного телевидения имеют потенциальную возможность организации двустороннего обмена информацией между абонентом и головной станцией (в диапазоне частот, расположенных ниже стандартных телевизионных каналов, например, 5÷30 МГц), что фактически значительно расширяет сферу услуг, предоставляемых СКТ. При этом необходимо иметь в виду, что СКТ являются широковещательными, т.е. способными распространять циркулярную информацию и собирать определённую информацию, поступающую от абонентов, но не могут устанавливать связь между любыми (абонент - абонент) абонентами СКТ.

Частотный план телевизионного вещания [рис.4.57](#) охватывает спектр частот в метровом диапазоне 48.5-100 МГц и 170-230 МГц (частоты 100-170 МГц для вещания не используются), в дециметровом диапазоне - 470-790 МГц. Полоса частот одного канала составляет 8 МГц.

Структурная схема СВТ определяется в каждом конкретном случае и зависит от различных факторов: условий приёма, планировки жилого массива, характера застройки и т.п.

Наибольшее распространение среди различных схем построения СКТ получила древовидная структура с аналоговым способом передачи сигналов и частотным разделением каналов в метровом диапазоне волн.

На [рис.4.58](#) приведена простейшая схема СКТП, предназначенная для обслуживания абонентов одного здания. Сигналы ТВ и ЧМ-вещания, принятые антенной, после усиления и преобразования (если приём осуществлялся в дециметровом диапазоне) складываются на общую нагрузку. С выхода устройства сложения сигналы подаются в домовую распределительную сеть, включающую несколько распределительных линий (обычно, соответственно количеству подъездов). К ответвительным устройствам через абонентские коробки посредством кабеля подключаются оконечные устройства (телевизоры, видеоманитофоны, ЧМ-приёмники). Направленные ответвители обеспечивают разделение мощности сигнала в равных пропорциях и обеспечивают высокую степень защищенности абонентских отводов от отраженных волн кабеля.

Необходимость конвертирования частот дециметрового диапазона в свободные в данной местности каналы метрового диапазона диктуется также экономическими соображениями: оборудование распределительных сетей рассчитано на работу в диапазоне до 230 МГц (т.е. в метровом диапазоне), что позволяет использовать существующие РС без каких-либо изменений. Реализация же сети в дециметровом диапазоне сопряжена с существенным увеличением её стоимости. Перенос каналов метрового диапазона на другие частоты обеспечивает исключение помех, обусловленных

прямой наводкой ретрансляторов на входы телевизоров и абонентские кабели. При подключении телевизора к СКТ на его входе присутствуют два сдвинутых во времени сигнала; один приходит по кабелю, второй - наводится в силу недостаточной экранировки входных цепей, что приводит к наличию на экране опережающего левого повтора изображения. Благодаря селективности входных цепей телевизионного приёмника и переносу канала в другой частотный диапазон помеха в виде эхо-изображения отсеивается.

При создании СКТ значения параметров усилительных устройств должны быть на уровнях, необходимых для построения многоканального линейного тракта требуемой протяженности и емкости. Реализуется это посредством широкополосных усилителей, обладающих высокой линейностью передаточной характеристики, низким коэффициентом шума, высокой равномерностью АЧХ. Причём, если усилители предназначены для использования в трактах большой протяженности, должны быть приняты меры по автоматической, стабилизации уровней, сигнала. Для уменьшения влияния искажений из-за отражения от неоднородностей необходимо высокое согласование элементов тракта и коаксиального кабеля.

Потенциальная пропускная способность распределительной сети соответствует полосе 20-ти телевизионных каналов и 70 каналов радиовещания, однако реализовать её трудно из-за недостаточной избирательности по соседнему каналу используемых телевизоров и наличия на их входах, напряжений гетеродинов селекторов каналов с достаточно высоким уровнем. Необходимость преобразования частоты принимаемых сигналов из-за недостаточной экранировки входных цепей телевизоров также снижает пропускную способность распределительных систем. С учётом указанных факторов существующие СКТ обеспечивают возможность распределения 5-8 ТВ программ.

Качественные показатели СКТ во многом определяются качеством сигнала на выходах антенн; требования к коэффициенту усиления антенн - порядка 5-8 дБ (в зависимости от диапазона), к помехозащищённости - порядка 20-30 дБ. Несмотря на использование довольно эффективных антенн, качество приёма во многом зависит от места расположения, определяемого обычно эмпирическим путем.

В СКТ с преобразованием частот накладывается много ограничений, связанных с распределением частот и с особенностями работы самих конверторов. В частности:

- сдвиг по частоте (для однократного преобразования) не должен превышать 8 МГц, поскольку иначе будет трудно отфильтровать сигнал на выходе смесителя;
- частоты гетеродинов, телевизоров и конверторов не должны попадать в полосы других каналов распределения, чтобы не создавать помех;

- номера каналов должны сочетаться так, чтобы уровни комбинационных помех, возникающих в смесителе конвертора, находились ниже уровней, определяемых допустимыми защитными отношениями;
- каналы желательно сочетать так, чтобы полосы частот, принимаемых сигналов не были зеркальными по отношению друг к другу для используемых в данной местности конверторов.

Для обеспечения равномерного деления мощности сигналов между отводами, подключенными к одной линии, коэффициент ответвления должен увеличиваться к концу линии по закону, обратно-пропорциональному закону затухания сигнала - это основное требование к ответвителям. Кроме того, ответвители должны иметь практически линейную характеристику переходного затухания при высокой направленности и согласовании. Наиболее полно этим требованиям соответствуют направленные ответвители (НО) с использованием трансформаторов на магнитных сердечниках. При построении домовых разветвительных устройств широко распространены УАР-6, выполненные по принципу НО с электромагнитной связью и имеющие переходное затухание в отвод около 17 дБ.

Рассмотрим построение типовой системы кабельного телевидения. На [рис.4.59](#) приняты следующие условные графические обозначения:

Наличие отдельных антенн для каждого канала обусловлено различным расположением передающих станций, исключение составляют 1-й, 4-й и 21-й каналы, передающие антенны которых расположены на одной вышке; кроме того, антенны метрового диапазона рассчитаны на приём 1-3 соседних каналов.

Сигнал, полученный с антенн, выравнивается (усиливается или ослабляется) антенными усилителями для достижения уровня, достаточного для обеспечения качественного приёма программ. Посредством канальных фильтров отсеиваются боковые каналы приёма и помехи. Каналы, расположенные в дециметровом диапазоне, переносятся посредством конверторов в свободные метровые каналы; занятыми являются 1-й и 4-й метровые каналы. Конверторы также обеспечивают стабилизацию уровня сигнала. Сумматор производит сложение сигналов принимаемых программ для дальнейшей передачи по коаксиальному кабелю в магистраль СКТ. Программы спутникового телевидения после преобразования ресивером и конвертором также поступают в сумматор. С выхода сумматора сигналы вводятся в линейный коаксиальный тракт, включающий коаксиальные кабели, широкополосные линейные усилители и распределители мощности сигналов. Следует отметить необходимость хорошего согласования линейного оборудования с кабелем во избежание потерь мощности сигнала.

Поскольку магистральные кабели подвержены влиянию температуры внешней среды (от -35° до +40)°, магистральные усилители снабжены блоками автоматической регулировки уровня, компенсирующими изменения затухания сигнала в кабеле.

Унифицированное телевизионное оборудование (УТО) для СКТП используется в качестве составного элемента линейного тракта СКТ. В состав УТО входят необходимый набор канальных усилителей (или комплект диапазонных усилителей) метрового диапазона частот, конвертор и смеситель сигналов. Канальный усилитель предназначен для усиления сигнала одного определенного канала, т. о. существуют канальные усилители на 1-й, 2-ой, 3-й и т.д. ТВ каналы в УТО устанавливаются канальные усилители соответственно транслируемым в данном здании ТВ каналам. Диапазонные усилители перекрывают несколько соседних каналов. Наряду с описанными канальными усилителями используется более поздние разработки - диапазонные усилители УТД-1,11 и УТД-111,, перекрывающие соответственно диапазоны 1-5 каналов (48.5-100 МГц) и 6-12: каналов (174-230 МГц). Наряду с описанными усилителями в состав УТО входит дециметровый конвертор, включающий трёхрезонаторный коаксиальный фильтр, устройство сложения мощностей сигнала и гетеродина, смесителя, гетеродина и усилителя промежуточной частоты. Схема конвертора (и конструкция) позволяет настраивать его на любые заданные сочетания каналов, за исключением несовместимых.

Организация мультисервисных сетей

В последнее время основным направлением в области развития телекоммуникационных сетей является создание интегрированной универсальной мультисервисной сети (МС), объединяющей различные виды связи на основе единых организационных и технологических принципов. Такая сеть предоставляет пользователям возможность передавать, принимать и обрабатывать в цифровом виде различную по характеру и объему информацию.

Решением этой проблемы занимаются во многих информационно развитых странах, в том числе и в нашей стране.

В первое время использования сети Интернет главным достоинством пакетной передачи информации была возможность создавать надежные сети, способные передавать нагрузку на большие расстояния, сейчас же на первый план выходит способность современных пакетных технологий обеспечить надежное качество обслуживания QoS.

К технологиям, обладающим данными характеристиками, необходимо, в первую очередь, отнести IPv6, ATM, MPLS.

Сложность анализа мультисервисных сетей объясняется многообразием использования различных вариантов источников мультимедийной нагрузки и количества объединяемых каналов для предоставления услуги пользователю цифровой сети. Одним из главных способов анализа и оптимизации мультисервисных сетей является моделирование. О нем речь пойдет в последующих лекциях.

Ниже приведены основные понятия, применяемые при рассмотрении мультисервисных сетей.

Мультисервисная сеть – это сеть связи, построенная в соответствии с концепцией сети связи следующего поколения и обеспечивающая предоставление неограниченного набора услуг.

Сеть доступа – сеть связи, обеспечивающая подключение терминальных устройств пользователя к конечному узлу транспортной сети.

Традиционная сеть связи – существующая сеть связи, такая как ТфОП, сеть кабельного телевидения и т.п., изначально предназначенная для предоставления услуг связи одного вида.

Инфокоммуникационная услуга – услуга связи, предполагающая автоматизированную обработку, хранение или предоставление по запросу информации с использованием средств вычислительной техники, как на входящем, так и на исходящем конце соединения.

Услуга переноса – услуга, заключающаяся в прозрачной передаче информации пользователя между сетевыми окончаниями без какого-либо анализа или обработки ее содержания.

Узел управления услугами – специализированный узел сети связи, осуществляющий управление предоставлением услуг в соответствии с концепцией интеллектуальной сети связи и принадлежащей оператору сети связи.

Основным принципом концепции мультисервисных сетей является отделение друг от друга функций переноса и коммутации, функций управления вызовом и управления услугами.

Мультисервисные сети представляют собой отдельный класс сетей, на базе которых может быть осуществлено предоставление широкого набора услуг.

Базовые услуги, предоставляемые существующими сетями связи и мультисервисными сетями (например, услуги телефонии) должны обладать идентичными характеристиками. Это означает, что мультисервисные сети должны обеспечивать выполнение принятых норм и требований для каждого типа услуг, включая показатели качества, параметры интерфейсов, адресацию и т.д. Для новых типов услуг (таких как

услуги мультимедиа, инфокоммуникационные услуги) мультисервисные сети должны обеспечивать возможность взаимодействия с аналогичными услугами других сетей.

Построение мультисервисных сетей должно соответствовать двухуровневой архитектуре, состоящей из регионального и магистрального (включая межрегиональный) уровней рис.4.60.

На региональном уровне мультисервисная сеть должна обеспечивать подключение абонентов и предоставление им как транспортных, так и инфокоммуникационных и других услуг, а также обеспечивать возможность взаимодействия с аналогичными услугами других региональных сетей.

На магистральном уровне мультисервисная сеть должна обеспечивать предоставление услуг переноса для взаимодействия мультисервисных региональных сетей, а также для передачи (при необходимости) нагрузки всех существующих сетей.

Решение указанных проблем связано с формированием сетей доступа, которые позволяют обеспечить разделение трафика на участке, где не накладывается жестких ограничений на скорость передачи.

Под сетью доступа подразумевается системно-сетевая структура, состоящая из абонентских линий, узлов доступа и систем передачи. Она служит для организации подключения пользователей к ресурсам региональных сетей. Услуги, предоставляемые сетью доступа, можно различать по способам доставки информации, качеству услуги (QoS) и скорости передачи.

Доступ к ресурсам мультисервисной сети осуществляется через граничные узлы, к которым подключается оборудование сети доступа или осуществляется связь с существующими сетями. В последнем случае граничный узел выполняет функции межсетевого шлюза.

Для организации управления мультисервисными сетями необходимо взаимодействие систем управления, принадлежащих различным операторам и поставщикам услуг.

Задачи конфигурации, контроля качества и аварийного надзора в пределах сети одного оператора являются внутренними, а задачи предоставления и обеспечения качества услуг решаются совместно операторами различных сетей.

Функциональная модель сетей NGN, в общем случае, может быть представлена тремя уровнями:

1. транспортный уровень;
2. уровень управления коммутацией и передачей информации;
3. уровень управления услугами.

Задачей транспортного уровня является коммутация и прозрачная передача информации пользователя.

Задачей уровня управления коммутацией и передачей является обработка информации сигнализации, маршрутизация вызовов и управление потоками.

Уровень управления услугами содержит функции управления логикой услуг и приложений и представляет собой распределенную вычислительную среду, обеспечивающую:

- предоставление инфокоммуникационных услуг;
- управление услугами;
- создание и внедрение новых услуг;
- взаимодействие различных услуг.

Данный уровень позволяет реализовать специфику услуг и применять одну и ту же программу логики услуги вне зависимости от типа транспортной сети (IP, ATM, FR и т.п.) и способа доступа. Наличие этого уровня позволяет также вводить в сети любые новые услуги без вмешательства в функционирование других уровней.

Уровень управления услугами может включать множество независимых подсистем ("сетей услуг"), базирующихся на различных технологиях, имеющих своих абонентов и использующих свои, внутренние системы адресации.

Основу сети NGN составляет универсальная транспортная сеть, реализующая функции транспортного уровня и уровня управления коммутацией и передачей. Назначением транспортной сети является предоставление услуг переноса.

Концепция NGN во многом опирается на технические решения, уже разработанные международными организациями стандартизации.

Сети подвижной связи: общая характеристика

Принципы функционирования систем сотовой связи

Связь называют мобильной, если источник информации либо ее получатель (или оба) перемещаются в пространстве. Радиосвязь с момента возникновения была мобильной. Первые радиостанции предназначались для связи с подвижными объектами – кораблями. Ведь один из первых приборов радиосвязи А.С. Попова был установлен на броненосце «Адмирал Апраксин». И именно благодаря радиосвязи с ним удалось зимой 1899–1900 годов спасти этот корабль, затертый во льдах Балтийского моря. Однако в те годы эта «мобильная связь» требовала громоздких приемопередающих устройств радиосвязи, что не способствовала развитию столь необходимой индивидуальной радиосвязи даже в Вооруженных силах, не говоря уже о частных клиентах.

17 июня 1946 года в Сент Луисе, США, лидер телефонного бизнеса компания AT&T и Southwestern Bell запускают первую радиотелефонную сеть для частных клиентов. Элементной базой аппаратуры являлись ламповые электронные приборы, поэтому аппаратура была очень громоздкой и предназначалась только для установки в автомобилях. Вес оборудования без источников электропитания составлял 40 кг. Несмотря на это, популярность мобильной связи стала стремительно расти. Это создало новую, более серьезную, чем массогабаритные показатели проблему. Увеличение количества радиосредств, при ограниченном частотном ресурсе приводило к сильным взаимным помехам для радиостанций, работающих на близких по частоте каналах, что значительно ухудшало качество связи. Для исключения взаимных помех при повторяющихся частотах необходимо было обеспечить минимум стокилометровый разнос по пространству между двумя группами радиосистем. Именно поэтому мобильная связь в основе своей использовалась для нужд специальных служб. Для массового внедрения требовалось изменить не только массогабаритные показатели, но и сам принцип организации связи.

В 1947 году изобретается транзистор, выполняющий функции электронных ламп, но обладающий значительно меньшими размерами. Именно появление транзисторов оказало огромное значение для дальнейшего развития радиотелефонной связи. Замена электронных ламп на транзисторы создала предпосылки широкого внедрения мобильного телефона. Основным сдерживающим фактором являлся принцип организации связи, который позволил бы устранить или хотя бы снизить влияние взаимных помех.

Исследования ультракоротковолнового диапазона волн, проводимые в 40-е годы прошлого века, позволили выявить его основное преимущество перед короткими волнами – широкодиапазонность, т. е. большая частотная емкость и основной недостаток – сильное поглощение радиоволн средой распространения. Радиоволны этого диапазона не способны огибать земную поверхность, поэтому дальность связи обеспечивалась только на линии прямой видимости, и в зависимости от мощности передатчика обеспечивалась максимум до 40 км. Этот недостаток вскоре превратился в преимущество, которое дало толчок активному массовому внедрению сотовой телефонной связи.

В 1947 сотрудник американской компании Bell Laboratories Д. Ринг предложил новую идею организации связи. Она заключалась в разделении пространства (территории) на небольшие участки - соты (или ячейки) радиусом 1–5 километров и в отделении радиосвязи в пределах одной ячейки (путем рационального повторения используемых частот связи) от связи между ячейками. Повторение частот значительно снизило проблемы использования частотного ресурса. Это позволяло использовать в разных сотах

распределенных в пространстве одни и те же частоты. В центре каждой ячейки предлагалось расположить базовую приемно-передающую радиостанцию, которая обеспечивала радиосвязь в пределах ячейки со всеми абонентами. Размеры соты определялись максимальной дальностью связи радиотелефонного аппарата с базовой станцией. Эта максимальная дальность получила название радиуса соты. Во время разговора сотовый радиотелефон соединяется с базовой станцией радиоканалом, по которому передается телефонный разговор. У каждого абонента должна быть своя микрорадиостанция – «мобильный телефон» – комбинация телефона, приемопередатчика и мини-компьютера. Абоненты связываются между собой через базовые станции, которые соединены друг с другом и с городской телефонной сетью общего пользования.

Для обеспечения бесперебойной связи при переходе абонента от одной зоны к другой потребовалось применение компьютерного контроля за телефонным сигналом, излучаемым абонентом. Именно компьютерный контроль позволил в течение всего лишь тысячной доли секунды переключать мобильный телефон с одного промежуточного передатчика на другой. Все происходит так быстро, что абонент просто этого не замечает. Таким образом, центральной частью системы мобильной связи являются компьютеры. Они отыскивают абонента, находящегося в любой из сот, и подключают его к телефонной сети. Когда абонент перемещается из одной соты (ячейки) в другую, компьютеры как бы передают абонента с одной базовой станции на другую и подключают абонента «чужой» сотовой сети к «своей» сети. Это происходит в тот момент, когда «чужой» абонент оказывается в зоне действия новой базовой станции. Таким образом, осуществляют роуминг (что по-английски означает «странствие» или «бродяжничество»).

Как отмечалось выше, принципы современной мобильной связи были достижением уже конца 40-х годов. Однако в те времена компьютерная техника была еще на таком уровне, что ее коммерческое применение в системах телефонной связи было затруднено. Поэтому практическое применение сотовой связи стало возможным только после изобретения микропроцессоров и интегральных полупроводниковых микросхем.

Первый сотовый телефонный аппарат прототип современного аппарата сконструировал Мартин Купер (фирма Motorola, США).

В 1973 году в Нью-Йорке, на вершине 50 этажного здания компанией Motorola, под его руководством была смонтирована первая в мире базовая станция сотовой связи. Она могла обслуживать не более 30 абонентов и соединять их с наземными линиями связи.

3 апреля 1973 года Мартин Купер набрал номер своего начальника и произнес следующие слова: «Представь себе, Джоэл, что я звоню тебе с первого в мире сотового телефона. Он у меня в руках, а я иду по Нью-Йоркской улице».

Телефон, с которого звонил Мартин, назывался Дуна-Тас. Его размеры были $225 \times 125 \times 375$ мм, а вес составлял немного ни мало 1,15 кг, что, впрочем, намного меньше 30 килограммовых устройств конца сороковых. С помощью аппарата можно было звонить и принимать сигнал, вести переговоры с абонентом. На этом телефоне размещалось 12 клавиш, из которых 10 были цифровые для набора номера абонента, а две другие обеспечивали начало разговора и прерывали звонок. Аккумуляторы Дуна-Тас позволяли работать в режиме разговора около получаса, а для их зарядки требовалось 10 часов.

Несмотря на то, что основные разработки велись в США, первая коммерческая сеть сотовой связи была запущена в мае 1978 года в Бахрейне. Две соты с 20 каналами в диапазоне 400 МГц обслуживали 250 абонентов.

Немногим позже сотовая связь начала свое триумфальное шествие по всему миру. Все больше и больше стран понимали выгоду и удобства, которые она может принести. Однако отсутствие единого международного стандарта использования диапазона частот, со временем привело к тому, что владелец сотового телефона, переезжая из одного государства в другое, не мог пользоваться мобильным телефоном.

В 70-е годы был предложен принцип организации связи, который позволил увеличить число абонентов и повысить качество связи: разбивать обслуживаемую территорию на небольшие участки, называемые сотами или ячейками.

Разделить обслуживаемую территорию на ячейки (соты) можно двумя способами: либо основанным на измерении статистических характеристик распространения сигналов в системах связи, либо основанным на измерении или расчете параметров распространения сигнала для конкретного района. При реализации первого способа вся обслуживаемая территория разделяется на одинаковые по форме зоны, и с помощью закона статистической радиофизики определяются их допустимые размеры и расстояния до других зон, в пределах которых выполняются условия допустимого взаимного влияния. Для оптимального, т. е. без перекрытия или пропусков участков, деления территории на соты использован шестиугольник, так как, если антенну с круговой диаграммой направленности устанавливать в его центре, то будет обеспечен доступ почти ко всем участкам соты. В этом случае тщательно измеряют или рассчитывают параметры системы для определения минимального числа базовых станций, обеспечивающих удовлетворительное обслуживание абонентов по всей территории, определяют оптимальное место расположения базовой станции с учетом рельефа местности, рассматривают возможность использования направленных антенн, пассивных ретрансляторов и смежных центральных станций в момент пиковой нагрузки и т. д.

Каждая из ячеек обслуживается своим передатчиком с невысокой выходной мощностью и ограниченным числом каналов связи. Это позволяет без помех использовать повторно частоты каналов этого передатчика в другой, удаленной на значительное расстояние, ячейке. Теоретически такие передатчики можно использовать и в соседних ячейках. Но на практике зоны обслуживания сот могут перекрываться под действием различных факторов, например, вследствие изменения условий распространения радиоволн. Поэтому в соседних ячейках используются различные частоты. Обычно антенны базовых станций имеют круговые диаграммы направленности (передача сигнала одинаковой мощности по всем направлениям). Пример построения сот при использовании семи частот $f_1 - f_7$ представлен на [рис.4.61](#). Именно возможность повторного применения одних и тех же частот определяет высокую эффективность использования частотного спектра в сотовых системах связи.

Группа сот с различными наборами частот называется кластером. Определяющим его параметром является количество используемых в соседних сотах частот. На [рис. 4.62](#), например, размерность кластера равна трем. Но на практике это число может достигать пятнадцати. Базовые станции удалены друг от друга на расстояние B , называемое «защитным интервалом» [рис.4.61](#).

Смежные базовые станции, использующие различные наборы частотных каналов, образуют группу из C станций. Если каждой базовой станции выделяется набор из m каналов с шириной полосы каждого F_k , то общая ширина полосы, занимаемая системой сотовой связи, составит:

$$F_c = F_k * m * C$$

Таким образом, величина C определяет минимально возможное число каналов в системе, поэтому ее часто называют частотным параметром системы, или коэффициентом повторения частот. Коэффициент C не зависит от числа каналов в наборе и увеличивается по мере уменьшения радиуса ячейки, следовательно, при использовании ячеек меньших радиусов имеется возможность увеличения повторяемости частот. Применение шестиугольных ячеек позволяет минимизировать ширину необходимого частотного диапазона, поскольку такая форма обеспечивает оптимальное соотношение между величинами C и B . Кроме того, шестиугольная форма наилучшим образом вписывается в круговую диаграмму направленности антенны базовой станции, установленной в центре ячейки. Остановимся более подробно на вопросе выбора размера ячейки (радиуса R). Эти размеры определяют защитный интервал B между ячейками, в которых одни и те же частоты могут быть использованы повторно. Заметим, что величина защитного интервала B , кроме уже перечисленных факторов, зависит также от допустимого уровня помех и

условий распространения радиоволн. В предположении, что интенсивность вызовов в пределах всей зоны одинакова, ячейки выбираются одного размера. Размер зоны обслуживания базовой станции, выражаемый через радиус ячейки R , определяет также число абонентов N , способных одновременно вести переговоры на всей территории обслуживания. Следовательно, уменьшение радиуса ячейки позволяет не только повысить эффективность использования выделенной полосы частот и увеличить абонентскую емкость системы, но и уменьшить мощность передатчиков и чувствительность приемников базовых и подвижных станций. Это, в свою очередь, улучшает условия электромагнитной совместимости средств сотовой связи с другими радиоэлектронными средствами и системами.

Эффективным способом снижения уровня помех может быть использование направленных секторных антенн с узкими диаграммами направленности. В секторе такой направленной антенны сигнал излучается преимущественно в одну сторону, а уровень излучения в противоположном направлении сокращается до минимума. Деление сот на секторы позволяет чаще применять частоты в сотах повторно. Общеизвестный способ повторного использования частот в организованных таким образом сотах основан на применении 3-секторных антенн для каждой базовой станции и трех соседних базовых станций с формированием ими девяти групп частот рис. В этом случае используются антенны с шириной диаграммы направленности 120° . Самую высокую эффективность использования полосы частот и, следовательно, наибольшее число абонентов сети, работающих в этой полосе, обеспечивает разработанный фирмой Motorola (США) способ повторного использования частот, при котором задействуются две базовые станции. При реализации этого способа каждая частота используется дважды в пределах кластера, состоящего из 4 ячеек; базовая станция каждой из них может работать на 12 частотах, используя антенны с диаграммой направленности шириной 60° .

Организация сетей сотовой связи

Каждая из сот обслуживается многоканальным приемопередатчиком, называемым базовой станцией. Она служит своеобразным интерфейсом между сотовым телефоном и центром коммутации подвижной связи, где роль проводов обычной телефонной сети выполняют радиоволны. Число каналов базовой станции обычно кратно 8, например, 8, 16, 32... Один из каналов является управляющим (control channel), в некоторых ситуациях он может называться также каналом вызова (call channel). На этом канале происходит непосредственное установление соединения при вызове подвижного абонента сети, а сам разговор начинается только после того, как будет найден свободный в данный момент

канал и произойдет переключение на него. Все эти процессы происходят очень быстро и потому незаметно для абонента. Он лишь набирает нужный ему телефонный номер и разговаривает, как по обычному телефону.

Любой из каналов сотовой связи представляет собой пару частот для дуплексной связи, т. е. частоты базовой и подвижной станций разнесены. Это делается для того, чтобы улучшить фильтрацию сигналов и исключить взаимное влияние передатчика на приемник одного и того же устройства при их одновременной работе.

Все базовые станции соединены с центром коммутации подвижной связи (коммутатором) по выделенным проводным или радиорелейным каналам связи рис.4.63 Центр коммутации MSC - это автоматическая телефонная станция системы сотовой связи, обеспечивающая все функции управления сетью. Она осуществляет постоянное слежение за подвижными станциями, организует их эстафетную передачу, в процессе которой достигается непрерывность связи при перемещении подвижной станции из соты в соту и переключение рабочих каналов в соте при появлении помех или неисправностей, производит соединение подвижного абонента с тем, кто ему нужен в обычной телефонной сети и др.

Алгоритмы функционирования систем сотовой связи

Не смотря на разнообразие стандартов сотовой связи, алгоритмы их функционирования в основном сходны. Для абонента практически нет разницы, в каком стандарте осуществляется связь. Если ему нужно позвонить, то он просто нажимает клавишу на своём телефоне, что соответствует снятию трубки обычного телефона. Когда же радиотелефон находится в режиме ожидания (состояние "трубка положена" обычного телефона), его приёмное устройство постоянно сканирует (просматривает) либо все каналы системы, либо только управляющие. Для вызова соответствующего абонента всеми базовыми станциями сотовой системы связи по управляющим каналам передаётся сигнал вызова. Сотовый телефон вызываемого абонента при получении этого сигнала отвечает по одному из свободных каналов управления. Базовые станции, принявшие ответный сигнал, передают информацию о его параметрах в центр коммутации, который, в свою очередь, переключает разговор на ту базовую станцию, где зафиксирован максимальный уровень сигнала сотового телефона вызываемого абонента.

Во время набора номера радиотелефон занимает один из свободных каналов, уровень сигнала базовой станции в котором в данный момент максимален. По мере удаления абонента от базовой станции или в связи с ухудшением условий распространения радиоволн уровень сигнала уменьшается, что ведёт к ухудшению

качества связи. Улучшение качества разговора достигается путём автоматического переключения абонента на другой канал связи. Это происходит следующим образом. Специальная процедура, называемая передачей управления вызовом или эстафетной передачей (в иностранной литературе - handover, или handoff), позволяет переключить разговор на свободный канал другой базовой станции, в зоне действия которой оказался в это время абонент. Аналогичные действия предпринимаются при снижении качества связи из-за влияния помех или при возникновении неисправностей коммутационного оборудования. Для контроля таких ситуаций базовая станция снабжена специальным приёмником, периодически измеряющим уровень сигнала сотового телефона разговаривающего абонента и сравнивающим его с допустимым пределом. Если уровень сигнала меньше этого предела, то информация об этом автоматически передаётся в центр коммутации по служебному каналу связи. Центр коммутации выдаёт команду об измерении уровня сигнала сотового радиотелефона абонента на ближайшие к нему базовые станции. После получения информации от базовых станций об уровне этого сигнала центр коммутации переключает радиотелефон на ту из них, где уровень сигнала оказался наибольшим. Переключение производится так быстро, что абонент совершенно не замечает этих переключений.

Иногда возникает ситуация, когда поток заявок на обслуживание, поступающий от абонентов сотовой сети, превышает количество каналов, имеющихся на всех близко расположенных базовых станциях. Это происходит тогда, когда все каналы станций заняты обслуживанием абонентов и нет ни одного свободного, но поступает очередная заявка на обслуживание от подвижного абонента. В этом случае как временная мера (до освобождения одного из каналов) используется принцип эстафетной передачи внутри соты. При этом происходит поочерёдное переключение каналов в пределах одной и той же базовой станции для обеспечения связью всех абонентов.

Одна из важных услуг сетей сотовой связи - предоставление возможности использования одного и того же радиотелефона при поездке в другой город, область или страну, причём сотовая сеть позволяет не только самому абоненту звонить из другого города или страны, но и получать звонки от тех, кто ему звонит. В сотовой связи такая возможность называется роуминг (от англ. roam - скитаться, блуждать). Для организации роуминга сотовые сети должны быть одного стандарта (например, телефон стандарта GSM не будет работать в сети стандарта CDMA и т.п.), а центры коммутации подвижной связи этого стандарта должны быть соединены специальными каналами связи для обмена данными о местонахождении абонента. Т.е. для обеспечения роуминга в сотовых сетях необходимо выполнение трёх условий:

- наличие в требуемых регионах сотовых систем стандарта, совместимого со стандартом компании, у которой подключен данный радиотелефон;
- наличие соответствующих организационных и экономических соглашений о роуминговом обслуживании абонентов;
- наличие каналов связи между системами, обеспечивающими передачу звуковой и другой информации для роуминговых абонентов.

При перемещении абонента в другую сеть её центр коммутации запрашивает информацию в первоначальной сети и при наличии подтверждения полномочий абонента регистрирует его. Данные о местоположении абонента постоянно обновляются в центре коммутации первоначальной сети, и все поступающие туда вызовы автоматически переадресовываются в ту сеть, где в данный момент находится абонент.

При организации роуминга не достаточно провести только технические мероприятия по соединению различных сетей сотовой связи. Очень важно ещё решить проблему взаиморасчётов между операторами этих сетей.

Различают три вида роуминга:

- автоматический, т.е. предоставление абоненту возможности выйти на связь "в любое время в любом месте";
- полуавтоматический, когда абоненту для пользования данной услугой в каком-либо регионе необходимо предварительно поставить об этом в известность своего оператора;
- ручной, по сути, простой обмен одного радиотелефона на другой, подключенный к сотовой системе другого оператора.

Существующий объём услуг роуминга во многом определяется активностью деятельности конкретных компаний, так как возникающие при этом технические проблемы у всех приблизительно одинаковы (хотя в стандарте GSM услуга роуминга была заложена изначально). Перспективы развития этой сферы услуг зависят уже от распространённости стандартов.

1G. NMT - Nordic Mobile Telephony

NMT (Nordic Mobile Telephony) – это первый полностью автоматический стандарт сотовой связи в истории. Его спецификация началась еще в 1970-х годах комитетом Nordic telecommunications administrations, в который входили Швеция, Норвегия, Дания, Финляндия и некоторые другие европейские страны. В 1981 году была введена первая сеть стандарта NMT.

Сеть NMT является аналоговой. Существует два варианта сетей этого стандарта: NMT-450 and NMT-900. Цифра указывает на используемый частотный диапазон: 450 МГц и 900 МГц соответственно. Стандарт NMT-900 был представлен в 1986. Он предоставляет больше каналов для радио соединений, нежели NMT-450.

Технические принципы NMT были готовы к 1973 году, а спецификация базовых станций была закончена в 1977 году. Спецификации NMT были свободными и открытыми, предоставляя большому числу компаний возможность производить оборудование для сетей стандарта NMT и продвигать его на рынке мобильной связи. Успех и широкое распространение NMT во многом были достигнуты благодаря компаниям Nokia и Ericsson.

Первый звонок в сети стандарта NMT был сделан в Финляндии в 1978 году. Хотя в разработке стандарта NMT принимали участие исключительно страны северной Европы, что даже отражено в названии стандарта, все же первая коммерческая сеть была открыта в Саудовской Аравии 1 сентября на один месяц раньше Швеции. После сети NMT были введены в Швеции и Норвегии в 1981 году. В 1982 году к ним присоединились Дания и Финляндия. Сети NMT нашли широкое распространение преимущественно в странах северной, центральной и восточной Европы: Швейцария, Нидерланды, Венгрия, Румыния, Чешская Республика, Словакия, Словения, Сербия, в том числе и России, а также в Азии.

Стандарт NMT предусматривал лишь одну основную услугу для абонентов – телефония. В последствие появилась возможность низкоскоростной передачи пользовательских данных. Но из-за низкой скорости (1,2 кбит/сек) данная услуга широкого распространения не нашла.

Главный недостаток NMT – отсутствие шифрования передаваемых по сети данных. Поэтому любой, кто имел простейший сканер частот, мог легко прослушать передаваемые по радиоинтерфейсу данные. Кроме того, для организации роуминга в сети NMT требовались значительные технические ресурсы и процесс соединения с сетями других операторов (особенно других стандартов) часто наталкивался на большие сложности.

Итак, рассмотрим структуру сети стандарта NMT рис.4.64:

Главными элементами сети сотовой связи NMT являются:

MSC – центр коммутации

BTS – базовая станция

MS – мобильная станция

Главным элементом сети, который обеспечивает управление всей системой, является MSC – центр коммутации мобильной связи сети сотовой связи стандарта NMT. В его задачи входит установление соединения между абонентами сети, а также абонентами

ТфОП. В сети оператора может быть несколько MSC. Для того, чтобы абонент мог получить обслуживание в любом месте своей сети его данные должны передаваться между коммутаторами. Для хранения абонентских данных в центре коммутации предусмотрен регистр положения абонентов. Таким образом, данные автоматически передаются от одного регистра к другому по мере передвижения абонента.

Базовая станция (БС, BTS) предназначена для создания радиопокрытия на территории прилегающих к ней сот. Как правило, каждая БС обслуживает три соседние соты.

Мобильная станция (Mobile Station или MS) – это телефон абонента. Первые телефоны были больше похожи на тумбы, чем на переносные устройства связи. Их постоянным местом размещения, как правило, был автомобиль. Позже появились устройства, которые можно было удерживать в одной руке. Однако их вес часто превышал один килограмм, но все же их уже можно было переносить с собой. По-настоящему мобильные телефоны, привычных нам размеров, появились только в конце 80-х годов.

Advanced Mobile Phone Service (AMPS)

Стандарт AMPS (Advanced Mobile Phone Service) – это аналоговый стандарт сотовой связи, относящийся к сетям первого поколения (1G). AMPS получил наибольшее распространение в Северной Америке, преимущественно в США, где и был разработан. Работой над созданием спецификаций этого стандарта занималась компания AT&T в 1970 году компанией. Спецификации для AMPS выпускал американский национальный институт стандартизации ANSI (American National Standards Institute) под аббревиатурой EIA/TIA/IS-3. Более поздние версии выпускались ассоциацией телекоммуникационной индустрии TIA (Telecommunications Industry Association) под аббревиатурой IS-91.

В 1978 году была построена первая тестовая сеть AMPS, а в 1980 году в Чикаго была запущена первая коммерческая сеть AMPS. Несмотря на то, что AMPS – это не первая сеть сотовой связи, она обладает рядом преимуществ: высокая спектральная эффективность, низкая стоимость эксплуатации и т.п., которые послужили причиной широкого распространения этого стандарта не только в Северной Америке, но и на других континентах.

Особенности построения радио интерфейса

AMPS относится к стандартам первого поколения сотовой связи и использует технологию FDMA (Frequency division multiple access) – метод частотного разделения каналов. При этом для каждого соединения выделяется индивидуальный частотный канал,

шириною 30 кГц. (рис. 4.66). Следовательно, чем выше необходима емкость, тем шире должна быть полоса частот, задействованная системой. Изначально предполагалось, что система AMPS будет работать в диапазоне 800 МГц. Однако со временем, для реализации сетей AMPS в других странах и для расширения возможностей существующих сетей, появились другие возможные частотные диапазоны, например 1900 МГц.

Предшествующие AMPS системы сотовой связи были больше похожи на сети теле- или радиовещания, чем на современные сотовые системы связи. Базовые станции (БС, BTS) в них излучали сигнал с большой мощностью и на обширной территории (с радиусом до 50 км). Такая схема обладала целым рядом недостатков, главными из которых являлись низкая емкость сети и низкая спектральная эффективность. Для работы большой сети, со значительным числом абонентов, задействовалась очень широкая полоса частот. В крупных городах системы сотовой связи быстро перегружались, и из-за ограниченности частотного диапазона не могли быть расширены.

В стандарте AMPS указанная проблема решается методом переиспользования частот, который стал ключевым во всех последующих системах сотовой связи. Принцип данного метода заключается в том, что каждая выделенная для оператора частота может быть использована на многих несмежных сотах. Это становится возможным благодаря тому, что базовые станции AMPS обладают гораздо меньшей излучаемой мощностью. Сигнал на определенной частоте распространяется на меньшей территории, а переотраженные волны быстро затухают и не могут оказать существенное влияние на работу близлежащих сот с аналогичной частотой. Таким образом, оператор может, используя одни и те же частотные каналы в сравнительно небольшом диапазоне частот, для строительства целой сети. Регулируя мощность и число используемых частот можно эффективно настроить сеть на области с различной плотностью абонентов: от степи до мегаполиса.

Одним из наиболее заметных изменений в стандарте AMPS, наряду с методом переиспользования частот, является гораздо более низкая излучаемая мощность мобильных устройств (MSU). В первых аналоговых системах сотовой связи, абонентские терминалы представляли собой громоздкие не портативные устройства. Мобильными их можно назвать лишь по тому, что они устанавливались на различных транспортных средствах. В системе AMPS телефон стал действительно мобильным. Этому способствовали сравнительно компактные размеры телефона и сравнительно низкая мощность излучения, а, следовательно, могла быть уменьшена емкость аккумулятора, а также его размеры и вес, чтобы его можно было поместить в небольшой корпус, который можно было бы удерживать одной рукой.

Архитектура сети стандарта AMPS

Принципы построения сети стандарта AMPS схожи с принципами строительства других сетей сотовой связи 1G, например, NMT. Основными элементами сети являются: Mobile Telecommunications Switching Office (MTSO), Cell-Site/Base station, Mobile Subscriber Unit (MSU) рис.4.65.

MTSO – это центральный объект сети мобильной связи. Он включает в себя Mobile Switching Centre (MSC), оборудование мониторинга сети, транспортное оборудование для связи с внешними сетями телефонной связи, например, ТфОП. Основной функцией MSC является коммутация соединений между абонентами сети и, возможно, с другими телефонными сетями. Кроме того, MSC выполняет функции контроля за радиоресурсами, составления счетов за оказанные услуги связи (биллинг), определение местоположения абонентов и некоторые другие.

Элемент сети Cell Site – это аналог базовой станции и выполняет практически аналогичные функции. Фактически Cell Site представляет собой некоторое физическое месторасположение оборудования обеспечивающего радио покрытие в пределах соты/сот: антенно-фидерное устройство и радиопередатчики. Вместе с этим Cell Site обычно включает транспортное оборудование, оборудование энергоснабжения, кондиционирования и др. Основной задачей Cell Site является организация интерфейса между MSU и MTSO.

MSU – мобильное абонентское устройство. Фактически, это окончательное пользовательское оборудование, с помощью которого абоненты получают услуги сети. Стандартом AMPS все MSU делятся на 3 группы:

1. Мобильный телефон (mobile phone)
2. Переносное (transportable) устройство
3. Портативное (portable) устройство

Причем только последний тип соответствует сотовому телефону в привычном облике. Устройства из первой группы предусматривали установку в транспортных средствах, а переносные устройства достаточно громоздки. Естественно, что наиболее компактные устройства подразумевали наименьший период работы в включенном режиме между подзарядками.

Каждое MSU включает в себя Numeric Assignment Module (NAM) – цифровой модуль назначения, который используется для обеспечения безопасного доступа абонентов в сеть. MTSO содержит «черный» список NAM, которым запрещен доступ в сеть. При регистрации MSU в сети MSC проверяет NAM на наличие его в «черном»

списке, и, в зависимости от результата проверки, может разрешить или запретить регистрацию.

Стандарты семейства AMPS: NAMPS, TACS, ETACS, JTAC

Стандарт AMPS оказался достаточно удачным для своего времени. Основные принципы данного стандарта положены в основу нескольких других, что в итоге привело к образованию целого семейства стандартов, используемых по всему миру. Ниже рассмотрены основные из них.

TACS (Total Access Communications System) – система связи полного доступа – стандарт сотовой связи, разработанный в 1983 году компанией Motorola на основе AMPS. Данный стандарт предусматривал работу в диапазоне частот 900 МГц, который разбивался на частотные каналы с шагом 25 кГц. Стандарт TACS особенно удачно подходил для реализации сетей связи в пригородных районах и городах. В 1985 году, в Великобритании была реализована первая сеть данного стандарта. В последствие TACS широко внедрялся в других Европейских странах, Новой Зеландии и некоторых странах Азии.

В 1987 году, из-за возросших потребностей в числе частотных каналов для операторов, стандарт TACS был модернизирован в E-TACS (Enhanced Total Access Communications System). Он предусматривал в два раза большее число каналов: 1320 вместо 600.

В Японии использовался немного измененный стандарт, основанный на TACS, получивший название JTACS или NTACS (Japanese/Narrowband Total Access Communications System).

Narrowband Advanced Mobile Phone Service (NAMPS) – это улучшенная версия стандарта AMPS. Главные его отличия от предшественника заключается в использовании передачи сигнализации в цифровом виде, а также использование частотных каналов шириной 10 кГц вместо 30 кГц, как это было в AMPS. Соответственно, емкость сети также утроилась.

Причины перехода от AMPS к DAMPS

Одной из главных проблем, которые встречали операторы, эксплуатирующие системы AMPS было быстрое достижение предельной емкости сети. В первую очередь перегрузки возникали на радио интерфейсе между MSU и Cell Site. Усовершенствования стандарта AMPS такие как E-TACS и NAMPS позволяли справиться с проблемой нехватки абонентской емкости лишь на некоторое время. Также существовала проблема

недостаточного уровня безопасности сети. Радио соединения могли бы быть прослушаны без особых затруднений. Кроме того, аналоговые системы были легко уязвимы к внешним воздействиям и качество обслуживания (QoS) оставляло желать лучшего.

Как отмечалось в начале, AMPS относится к стандартам 1G, т.е. аналоговым стандартам, пользовательские данные в котором передаются в аналоговом исходном виде. В стационарных телефонных системах отмеченные выше проблемы решались переходом от аналогового способа передачи сигналов к цифровому. Именно это и было сделано в данном случае. В конце 80-х годов был разработан стандарт D-AMPS (Digital Advanced Mobile Phone System). Причем новый стандарт использовал тот же частотный диапазон и те же частотные каналы 30 кГц для передачи информации между базовыми станциями и абонентским терминалом, что и AMPS. Это важное условие позволило облегчить операторам миграцию от 1G к 2G, т.к. не требовалось приобретение лицензий на новые частоты, а сам процесс перехода мог быть сделан с минимальным перерывом в предоставлении услуг.

В 1990 году была запущена первая сеть стандарта DAMPS. К основным преимуществам данного стандарта можно в первую очередь отнести увеличение емкости. Для первого релиза DAMPS емкость сети на радио интерфейсе была увеличена в 3 раза. В более поздних версиях, за счет введения нового диапазона частот и новых голосовых кодеков емкость могла быть увеличена до 15 раз. Кроме увеличения емкости сети DAMPS обладал улучшенной системой безопасности, а также устойчивости к действию внешних искажений за счет введения помехоустойчивого кодирования.

Не смотря на безоговорочные преимущества цифровых систем сотовой связи перед аналоговыми, AMPS все же остается одним из лучших представителей стандартов первого поколения. Стандарт AMPS показал существовавшие недостатки аналоговых сетей и заложил прочную основу для разработки новых систем сотовой связи. До сих пор в некоторых странах продолжают функционировать сети стандарта AMPS, а по количеству абонентов он до сих пор занимает второе место по числу абонентов после GSM, не смотря на появление систем 3G и 4G.

2G. D-AMPS (Digital Advanced Mobile Phone System)

Стандарт D-AMPS (Digital Advanced Mobile Phone System – цифровая улучшенная система мобильной связи) – цифровая система сотовой связи второго поколения (2G), известная также под аббревиатурой IS-54. Этот стандарт нашел наибольшее распространение в Северной Америке, преимущественно в США и Канаде.

В обозначении стандарта IS-54 буквенная аббревиатура означает Interim Standard. Он был разработан EIA (Electronic Industries Alliance – альянс отраслей электронной промышленности), а также TIA (Telecommunications Industry Association – ассоциация телекоммуникационной индустрии). Позднее он был переименован в American National Standard когда был доработан Североамериканской организацией по стандартизации (ANSI - American National Standards Institute). Когда Interim Standard превратился в American National Standard его обозначение было изменено в ANSI/TIA/EIA-627. Однако до сих пор стандарт D-AMPS часто упоминается под аббревиатурой IS-54.

Исторически сложилось, что сотовая связь развивалась параллельно в трех географических областях: Европа (к которой можно отнести Россию), Северная Америка и Япония. Ранние системы сотовой связи были полностью аналоговыми и относились к первому поколению (1G). В частности, в США одним из самых первых стандартов был AMPS (Advanced Mobile Phone System). Этот стандарт был разработан Bell Labs в 1970-х годах, а первая коммерческая сеть AMPS была запущена в 1983 году. Успех первых сетей сотовой связи дал хороший толчок для дальнейшего развития стандартов мобильной связи.

В скором времени после запуска первых AMPS сетей рынок показал увеличение спроса на услуги мобильного доступа. Одной из наиболее острых проблем, которые обнаруживали сети 1G была низкая емкость сети. Так, например, сеть сотовой связи в Нью-Йорке могла поддерживать одновременно лишь 12 голосовых соединений. В стандарте AMPS применялся частотный метод множественного доступа (FDMA - Frequency Division Multiple Access). Это означает, что для увеличения пропускной способности требовалось использовать большее число приемо-передатчиков и ближе друг к другу устанавливать базовые станции (BTS). Кроме ограничений по пропускной способности, AMPS имел и другие недостатки. В частности, системы безопасности оставляли желать лучшего: передаваемая по радио интерфейсу речь не подвергалась шифрованию. Кроме того не были предусмотрены какие либо процедуры аутентификации доступа в сеть, что, в свою очередь, давало возможность несанкционированному использованию услуг сети. Указанные выше проблемы были решены в первом Североамериканском стандарте второго поколения D-AMPS (IS-54). Также данный стандарт добавил системам сотовой связи новые важные услуги: SMS, передача данных (доступ в Интернет) и роуминг.

Особенности D-AMPS

Рассмотрим технические особенности D-AMPS, которые позволяют достичь указанные преимущества. Главным отличием D-AMPS предыдущего стандарта был способ доступа абонентов в сеть: вместе с FDMA использовался TDMA (Time Division Multiple Access), т.е. множественный доступ с временным разделением рис. 4.66. Этот метод разделяет соединения по времени, размещая части каждого соединения одну за одной на одинаковой частоте. Только лишь благодаря этому нововведению емкость сети была увеличена в 3 раза.

Стандарт D-AMPS предусматривает аналого-цифровое преобразование (АЦП) голосового потока, благодаря чему появляется возможность использовать алгоритмы обеспечения безопасности доступа, дополнительные сервисы и, самое главное, более эффективное использование выделенного спектра частот. При этом новый стандарт задействует те же частотные каналы по 30 кГц в том же частотном диапазоне (824-849 и 869-894 МГц), что и AMPS рис. 4.67.

В стандарте IS-54 предусмотрено в два раза большее число служебных каналов, чем в стандарте AMPS. Однако половина из них аналогична набору каналов из предшествующего аналогового стандарта, т.е. используются те же протоколы и схема модуляции. Это позволяет удовлетворять принципу «обратной совместимости», который закладывался как базовое требование к новой системе. Основным его смысл заключается в том, чтобы свести к минимуму изменения в существующей AMPS-сети и тем самым уменьшить перерыв в предоставлении услуг и снизить расходы на модернизацию.

В стандарте D-AMPS, как отмечалось ранее, используется временной метод множественного доступа TDMA. Он был принят ассоциацией TIA в 1992 году. TDMA разделяет каждый частотный FDMA-канал (30 кГц) на 3 TDMA-канала, каждый из которых способен передавать одно голосовое соединение. Позднее, благодаря появившемуся новому речевому кодексу каждый из TDMA-каналов так же мог быть разделен на 2 подканала, каждый из которых так же может передавать голос, но с большей степенью сжатия. Таким образом, благодаря новому методу множественного доступа емкость сети может быть увеличена в 3-6 раз.

В стандарте D-AMPS также используется другой способ модуляции DQPSK (Differential Quaternary Phase Shift Keying), которая является разновидностью фазовой манипуляции (ФМ). Благодаря этому спектральная эффективность была увеличена до 1,62 бит/сек/Гц, что на 20% лучше чем GSM. Это позволяет более эффективно использовать частотный спектр. Однако энергетическая эффективность у D-AMPS ниже чем у GSM что

приводит к повышенному расходу электроэнергии базовых станций и ускоренному разряду аккумуляторов мобильных телефонов (MS).

Для устранения избыточности голосового потока в стандарте D-AMPS применяется голосовой кодек под названием VSELP (Vector Sum Excited Linear Prediction), который принадлежит к семейству речевых кодеков CELP (Code-Excited Linear Prediction) – речевые кодеки с линейным предсказанием. После сжатия скорость голосового потока достигает 7,95 кбит/сек (13 кбит/сек) при качестве, почти не уступающем AMPS. Для полускоростного кодека (Half Rate) скорость составляет 6,5 кбит/сек при незначительном ухудшении качества.

К нововведениям D-AMPS также можно отнести новый алгоритм аутентификации CAVE (Cellular Authentication, Voice Privacy and Encryption) и шифрования CMEA (Cellular Message Encryption Algorithm). В отличие от AMPS в этом стандарте применяется интерливинг (Interleaving - перемежение) для борьбы с быстрыми замираниями.

Первая коммерческая сеть стандарта D-AMPS появилась в 1990 году и быстро нашла широкое распространение в Североамериканских странах. Однако Digital AMPS нашел распространение еще в 80 странах по всему миру, в том числе и в России. В 1997 году в Красноярском крае была построена первая сеть стандарта D-AMPS в России.

Не смотря на большой перечень преимуществ данного стандарта, все же D-AMPS обладает очень большим недостатком: поменять абонентский номер (оператора) невозможно так же легко как в сетях стандарта GSM, где для этого достаточно лишь поменять SIM-карту. Это и привело к постепенно вытеснению D-AMPS стандартом GSM.

Закат этого стандарта можно обозначить на 2007-2008 года, когда по всему миру прошла волна завершения. В России последняя сеть данного стандарта была выключена в конце 2007 года.

Однако, не смотря на проигрыш GSM, стандарт D-AMPS придал сетям сотовой связи новый функционал, который указал новые вектора развития для последующих стандартов и возможные недостатки, которые были учтены в новых системах сотовой связи.

2G. GSM - Global System for Mobile Communications

Стандарты сотовой связи второго поколения нашли широкое распространение не только на территории России, но и в других странах. Самым известным стандартом 2G является GSM (Global System for Mobile Communications - Глобальная система мобильной связи). Около 80% сетей сотовой связи по всему миру построены по этому стандарту. Сети GSM используются 3 миллиардами людей более чем в 212 странах мира. Такое

широкое распространение позволяет использовать международный роуминг между операторами сотовой связи, что дает возможность абоненту свой телефон практически в любом уголке Земли. Причем именно возможность роуминга (в том числе и международного) является главной отличительной чертой стандарта GSM от стандартов первого поколения.

Разработка стандарта GSM началась еще в 1982 году организацией по стандартизации CEPT (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.

Сети стандарта GSM позволяют предоставлять широкий перечень услуг:

Голосовые соединения

Услуги передачи данных (до 384 кбит/сек благодаря технологии EDGE)

Передача коротких текстовых сообщений (SMS)

Передача факсов

Голосовая почта

Конференцсвязь и мн. др.

Благодаря этому GSM завоевал прочные позиции на рынке сотовой связи. Причем, можно с уверенностью сказать, что на ближайшие несколько лет этот стандарт будет лидирующим.

Итак, рассмотрим основные элементы, входящие в состав системы GSM рис. 4.68 :

Сеть GSM делится на 2 системы. Каждая из этих систем включает в себя ряд функциональных устройств, которые, в свою очередь являются компонентами сети мобильной радиосвязи.

Данными системами являются:

Система коммутации – Network Switching System (NSS)

Система базовых станций - Base Station System (BSS)

Система NSS выполняет функции обслуживания вызовов и установления соединений, а также отвечает за реализацию всех назначенных абоненту услуг. NSS включает в себя следующие функциональные устройства:

Центр коммутации мобильной связи (MSC)

Домашний регистр местоположения (HLR)

Визитный регистр местоположения (VLR)

Центр аутентификации (AUC)

Регистр идентификация абонентского оборудования (EIR).

Система BSS отвечает за все функции, относящиеся к радиointерфейсу. Эта система включает в себя следующие функциональные блоки:

Контроллер базовых станций (BSC)

Базовую станцию (BTS)

MS (т.е. телефон абонента) не принадлежит ни к одной из этих систем, но рассматривается как элемент сети.

Теперь рассмотрим перечисленные элементы более подробно:

Состав системы коммутации NSS

Центр коммутации мобильной связи (MSC). MSC является главным элементом системы GSM, он осуществляет контроль за BTS и BSC, расположенные в его зоне обслуживания. Основная функция MSC заключается в установлении соединения между абонентами сети. Через него также осуществляется выход на другие сети связи: стационарную телефонную сеть, сети междугородной связи, другие сотовые сети.

Домашний регистр местоположения (HLR). HLR содержит информацию об абонентах, которые приписаны к данному MSC. В нем хранится информация о подключенных услугах, о его состоянии (включен, выключен, активное соединение), местоположении абонента и некоторая другая информация. Информация о каждом абоненте храниться лишь в одном HLR.

Визитный регистр местоположения (VLR). В VLR хранится информация об активных абонентах, которые находятся в зоне обслуживания данного MSC. В него занесены данные и о домашних абонентах, приписанных к данному MSC и о так называемых роумерах – абонентах, для которых данный MSC гостевой. Это могут быть абоненты других операторов связи, либо абоненты того же оператора, но из других регионов. В VLR информация поступает из HLR.

Центр аутентификации (AUC). AUC предназначен для аутентификации абонентов. Эта процедура предназначена для предотвращения несанкционированного доступа в сеть. Каждый раз, когда абонент включает свой телефон, совершает голосовой вызов, отправляет SMS и т.п. сеть предлагает пройти процедуру аутентификации. Ее осуществляет MSC на основании данных полученных из AUC и от MS.

Регистр идентификации абонентского оборудования (EIR). EIR – это база данных, содержащая информацию о идентификационных номерах мобильных телефонов GSM. Данная информация необходима для осуществления блокировки краденых трубок. EIR не является обязательным элементом сети. В мире существует лишь несколько операторов, которые внедрили его в своей сети.

Состав системы базовых станций BSS

Контроллер базовых станций (BSC). BSC управляет всеми функциями, относящимися к работе радиоканалов в сети GSM. Это коммутатор большой емкости, который обеспечивает такие функции, как хэндовер MS, назначение радиоканалов и сбор данных о конфигурации сот. Каждый MSC может управлять несколькими BSC.

Базовая станция (BTS). BTS управляет радиоинтерфейсом с MS. BTS включает в себя такое радиооборудование, как трансиверы (приемо-передатчики) и антенны, которые необходимы для обслуживания каждой соты в сети.

Элементы сети относящиеся к пакетной передаче данных

Узел обслуживания абонентов GPRS (SGSN). Пакетные данные в отличие от голосового трафика передаются от подсистемы базовых станций не в сторону MSC, а в сторону SGSN. Этот элемент представляет собой маршрутизатор с расширенными функциями. На него возложены функции установления сессии пакетной передачи данных, маршрутизации пакетов, начисления платы за предоставленные услуги.

Шлюзовой узел GPRS (GGSN). GGSN представляет собой шлюз сети. Если пакеты маршрутизируются за пределы сети оператора, то они попадают именно в GGSN. Этот элемент часто конструктивно объединяется вместе с SGSN в одном устройстве.

CDMA One (IS-95)

CDMA One – это первый стандарт мобильной связи, который придал толчок повсеместному использованию сотовой связи и нашел широкое распространение в Северной Америке. CDMA One – это только брендовое имя стандарта, часто упоминаемого как IS-95. Первые спецификации стандарта IS-95 выпускались под аббревиатурой IS-95A, а более поздние, усовершенствованные релизы опубликовывались как IS-95B. Именно IS-95B обычно ассоциируют с CDMA One. Наряду с голосом системы сотовой связи этого стандарта могли передавать данные со скоростями: 14,4 кбит/сек для IS-95A и 115 кбит/сек - IS-95B.

CDMA One была первой системой сотовой связи, в которой использовался кодовый метод множественного доступа (CDMA - code division multiple access). Предшествующие системы использовали частотный (FDMA - frequency division multiple access) и временной (TDMA - time division multiple access) методы множественного доступа. Все последующие после IS-95 стандарты сотовой связи, включая стандарты третьего поколения - 3G использовали CDMA при построении радио интерфейса. Таким образом, CDMA One оказалась системой-пионером в этой области.

Идея использовать распределение энергии сигнала в заданном частотном диапазоне с помощью специальной расширяющей последовательности (DSSS - direct sequence spread spectrum) для множественного доступа в мобильных системах связи пришла от калифорнийской компании Qualcomm в 1980 годах. Предыдущие DSSS – системы преимущественно использовались в военных системах связи и для спецслужб, т.к. они обладают высокой устойчивостью к обнаружению факта передачи, нарушению связи и подслушиванию разговоров.

Система предполагала перемножение (одновременную передачу в радио эфире в одном частотном диапазоне) данных с различными скоростями. Специальная последовательность, известная под названием расширяющий код (spreading code), использовалась для распределения энергии сигнала в широком частотном диапазоне = 1,25 МГц. Исходная информация может быть восстановлена лишь с использованием исходной последовательности. Таким образом, имея достаточное количество расширяющих кодов можно построить систему с множественным доступом.

С целью улучшения стандарта CDMA One был образован консорциум, в котором к компании Qualcomm присоединились два других крупнейших оператора сотовой связи Nynex и Ameritech с целью разработки первой CDMA-системы. Позднее этот союз был расширен компаниями Motorola и AT&T, которые внесли дополнительные ресурсы для ускорения разработки системы. Результатом их работы послужила публикация нового стандарта под аббревиатурой IS-95A в 1995 году под эгидой ассоциации индустрии сотовой связи (CTIA - Cellular Telecommunications Industry Association). В последствие была образована группа разработки CDMA (CDG - CDMA Development Group). Ее цель была продвигать CDMA и развивать технологии и стандарты, хотя в наши дни основные работы по стандартизации проводятся 3GPP2.

Спустя 3 года компанией Hutchison Telecom была запущена в эфир первая система сотовой связи стандарта CDMA One. Позднее сети IS-95 нашли широкое распространение в Северной Америке и странах Азии. Однако некоторые сети также были развернуты в Южной Америке, Африке, Среднем Востоке, также как и в некоторых странах Восточной Европы.

Опираясь на успех первого релиза стандарта CDMA One - IS-95A, была проведена работа по его улучшению. Основные изменения коснулись технологии передачи данных, и результатом стало увеличение максимальной скорости до 115 кбит/сек.

Система CDMA в дальнейшем была улучшена и преобразована в систему стандарта третьего поколения, которая предусматривала гораздо более высокие скорости передачи данных и новые услуги для абонентов. В результате перехода к 3G стандарт получил

новое название CDMA2000, а после дальнейшего улучшения появились стандарты CDMA 2000 1x и CDMA 2000 1x ev-do (evolution data only or data optimised), которые предоставляли абонентам еще более высокие возможности, особенно в области передачи данных.

Особенности стандарта IS-95

Как отмечалось ранее, стандарт IS-95 использует кодовый принцип разделения абонентов (CDMA). Именно с его использованием связаны основные особенности и отличия от стандартов предыдущих поколений (NMT, AMPS, GSM и т.п.). Рассмотрим ключевые особенности стандарта CDMA One, которые дают преимущества перед системами других стандартов:

1. Мягкая передача (Soft handoff). В связи с тем, что в каждой соте используются одинаковые частоты, единственное отличие между пользовательскими каналами заключается в используемой расширяющей последовательности. Поэтому, при переходе абонента из одной соты в другую нет перехода между частотами, как это было в стандартах с частотным разделением. Мобильный терминал (MS) получает аналогичный сигнал, как в соте-источнике, так и в новой соте, поэтому нет необходимости в перенастройке приемника на другую частоту. При этом мобильный терминал может получать сигнал от двух, трех и более сот. Поэтому резкое снижение качества сигнала от одной соты не приведет к разрыву соединения. В свою очередь, сразу несколько базовых станций (BTS) могут принимать сигнал от MS и контроллер базовых станций (BSC) может сравнить два и более сигнала и выбрать наилучший. Оба этих фактора снижают вероятность обрыва соединения во время хэндовера рис.4.69.

2. Гибкая емкость сети. В системах с временным и частотным разделением строго определено количество доступных для абонентов каналов. При этом, если система настроена соответствующе и нет проблем с работой оборудования, каналы не влияют друг на друга. Если будут попытки доступа в соту свыше числа настроенных каналов, то таким абонентам будет отказано в обслуживании.

Теоретически, это не важно: разделен ли спектр на частоты, таймслоты или коды – емкость сети будет одинаковой. Однако для CDMA все абоненты разделены с помощью кодов. Поэтому дополнительные пользователи могут быть добавлены за счет незначительного снижения качества соединений. Таким образом, емкость CDMA-систем в случае возникновения необходимости может варьироваться.

3. Терпимость к многолучевому распространению. Расширение спектра эффективно в борьбе с частотно-селективными замираниями, которые могут возникать

при многолучевом распространении сигналов. В случае использования CDMA, энергия полезного сигнала распределяется в широкой полосе пропускания. Поэтому возникающие частотно-селективные замирания, которые являются сосредоточенными в узком частотном канале не могут нанести существенных искажений для всего сигнала. Для систем, в которых энергия полезного сигнала сосредоточена в узкой области частотно-селективные замирания могут повлечь существенное снижение качества передачи, либо даже временную блокировку каналов системы рис.4.70.

Кроме того, в CDMA One, многолучевое распространение сигнала может принести пользу для получателя сообщения при использовании, так называемого, Rake-приемника. Он принимает все переотраженные лучи сигнала и, анализируя их, может выявить ошибки и устранить их, тем самым улучшить качество связи.

4. Нет необходимости использовать эквалайзер. Когда скорость передачи намного превышает 10 кбит/сек в FDMA и TDMA системах, необходимо использовать эквалайзер для снижения межсимвольной интерференции. Это связано с тем, что при увеличении скорости уменьшается длительность интервала и межсимвольные интервалы, соответственно. Поэтому энергия последующих символов может быть наложена одна на другую. В CDMA One, за счет того что энергия каждого символа передается в широкой полосе, межсимвольная интерференция не так опасна. Кроме того, значительную помощь в борьбе с этим негативным явлением оказывает Rake-приемник.

5. Высокая скрытность и устойчивость к воздействиям извне. Важная особенность расширенных сигналов заключается в том, что они становятся шумоподобными или псевдослучайными. Эти два термина означают, что спектр сигнала становится похож на спектр белого шума, как по форме, так и по мощности. Поэтому в эфире такой сигнал оказывается замаскирован в покрывающих его внешних помехах и становится достаточно тяжело определить наличие сигнала, и тем более попытаться оказать на него воздействие, подслушать или подменить.

Кроме преимуществ, системы с CDMA обладают и некоторыми недостатками:

1. Системы CDMA являются само интерферирующими. Это означает, что работающие в эфире устройства оказывают влияние на работу других устройств, создавая им помехи. Это связано с тем, что в системе используются не совсем ортогональные (независимые) коды. Поэтому MS различных абонентов могут создавать влияние друг на друга. Причем чем больше мобильных терминалов работает в сети, тем большее влияние они оказывают друг на друга. Именно не полная ортогональность кодов является основным ограничивающим фактором для пропускной способности и емкости системы.

2. Проблема «ближней - дальней» зон возникает из-за того, что сигнал от MS, находящихся ближе к базовой станции претерпевает меньшее затухание, чем мобильный телефон, который находится на краю соты. Такая ситуация возникает из-за того, что энергия всех сигналов передается в общем частотном диапазоне. Это приводит к тому, что ближние мобильные терминалы могут заглушить дальних и сократить тем самым зону покрытия соты. Основным способом борьбы с этой проблемой является управление мощностью. Обычно в системах с кодовым разделением применяется несколько различных механизмов регулирования мощностью, что позволяет снизить до минимума последствия этого явления рис. 4.71

Стандарт IS-95 в России

История стандарта CDMA One в нашей стране достаточно богата. В первые годы повсеместного распространения сотовой связи в России (на рубеже XX-XXI столетий) было даже трудно сказать, какой из стандартов является преобладающим: IS-95 или GSM. До 2001 года в некоторые периоды CDMA имел даже большее число абонентов, чем GSM. Однако изначально в нашей стране именно стандарт GSM предусматривался как основной при строительстве сетей сотовой связи. Трудности в правовых аспектах строительства сетей CDMA One создали значительную задержку в его распространении. Хотя это не единственный сдерживающий фактор. Мобильные аппараты, работающие в стандарте IS-95 были запрограммированы на работу в определенной сети и было невозможно сменить оператора также легко, как и с MS стандарта GSM, где для этого достаточно было поменять SIM-карту.

В то же время, многие специалисты отмечают, что CDMA One гораздо экономичнее стандарта GSM и позволяет более эффективно использовать радио ресурсы. Это и другие вышеотмеченные преимущества не позволили этому стандарту быть забытым. В результате на основе CDMA One были реализованы другие стандарты уже третьего поколения.

3G. UMTS - Universal Mobile Telecommunications System

Стандарты третьего поколения пришли на смену стандартам 2G. В первую очередь их появление обусловлено возросшими потребностями абонентов в скорости передачи данных. Стандарт UMTS (Universal Mobile Telecommunications System - Универсальная система мобильной связи) нашел наибольшее распространение среди других стандартов этого поколения на территории Европы, в том числе и России.

Разработка стандарта UMTS началась в 1992 году организацией по стандартизации ИМТ-2000. Впоследствии разработка этого стандарта была поручена 3GPP. Первая сеть UMTS была запущена в коммерческую эксплуатацию 1 декабря 2001 года в Норвегии. К маю 2010 года число абонентов переваливает за 540 миллионов по всему миру.

Скорость передачи данных для сетей UMTS может достигать 2Мбит/сек. Благодаря технологии HSDPA-High Speed Downlink Packet Access (3.5G), которая была внедрена в 2006 году максимальная скорость возрасла до 14 Мбит/сек. Эти и другие преимущества UMTS позволяют предоставлять абонентам широкий перечень услуг: видеозвонки, видеоконференции, высококачественные голосовые звонки, загрузка файлов с высокой скоростью, сетевые игры, мобильная комерция и мн. др.

Рассмотрим структуру системы UMTS и ее основные отличия от стандарта второго поколения GSM рис. 4.72.

Подсистема коммутации. В первых релизах стандарта UMTS (R99, R4) подсистема коммутации не отличалась по своей структуре от той же подсистемы сетей второго поколения. В нее входили MSC – Mobile Switching Centre, который выполнял функции коммутации, установления соединения, тарификации и др., а также ряд регистров HLR, VLR, AUC, которые предназначены для хранения абонентских данных. В более поздних релизах (R5, R6, R7, R8) функции MSC были разделены между двумя устройствами: MSC-Server и MGW (Media gateway). MSC-Server отвечает за установление соединений, тарификацию, выполняет некоторые функции аутентификации. MGW представляет собой коммутационное поле, подчиненное MSC-Server.

Подсистема базовых станций. В сети UMTS по сравнению с сетью GSM наибольшие изменения претерпела подсистема базовых станций. Отмеченные выше преимущества достигаются в первую очередь за счет новой технологии передачи информации между базовой станцией и телефоном абонента.

Итак, рассмотрим основные элементы, входящие в подсистему базовых станций:

RNC (Radio Network Controller) – контроллер сети радиодоступа системы UMTS. Он является центральным элементом подсистемы базовых станций и выполняет большую часть функций: контроль радиоресурсов, шифрование, установление соединений через подсистему базовых станций, распределение ресурсов между абонентами и др. В сети UMTS контроллер выполняет гораздо больше функций нежели в системах сотовой связи второго поколения.

NodeB – базовая станция системы сотовой связи стандарта UMTS. Основной функцией NodeB является преобразование сигнала, полученного от RNC в

широкополосный радиосигнал, передаваемый к телефону. Базовая станция не принимает решений о выделении ресурсов, об изменении скорости к абоненту, а лишь служит мостом между контроллером и оборудованием абонента, и она полностью подчинена RNC.

Оборудование абонента получило название UE (User Equipment). Тем самым подчеркивается, что в отличие от предшествующих стандартов в UMTS может быть не только обычный телефон, но и смартфон, ноутбук, стационарный компьютер и т.п.

Пакетные данные в сети UMTS передаются от MGW к известному нам по системе GSM элементу SGSN, после чего через GGSN поступают к другим внешним сетям передачи данных, например Internet. Как правило, SGSN и GGSN сети GSM применяются для тех же целей и в сети UMTS. Производится только коррекция программного обеспечения данных элементов.

CDMA2000

Стандарт CDMA2000 – это представитель стандартов сотовой связи третьего поколения (3G). Он также известен под именами IMT-CDMA Multi-Carrier или IS-2000. Основной целью создания CDMA2000 было увеличение пропускной способности и максимально разрешенных скоростей передачи данных, по сравнению с предшествующим стандартом CDMA One. Разработка CDMA2000 началась в 2000 году, организацией 3GPP2. В итоге был выпущен целый набор стандартов, описывающих новый радио интерфейс и значительные улучшения в сети радио доступа (Radio Access Network, RAN) и системе коммутации (CN), которые позволили добиться указанных выше требований. Таким образом, CDMA2000 – это технология, которая обеспечила эволюцию сетям CDMA One/IS-95 к стандартам третьего поколения.

CDMA2000 может быть рассмотрен в нескольких фазах. Первая фаза: CDMA2000 1x, который поддерживает среднюю скорость передачи данных 144 кбит/сек. Следующей фазой является стандарт, получивший аббревиатуру: 1x-EV-DO (evolution data only or data optimised). Он позволяет передавать данные со скоростью до 2 Мбит/сек на одной несущей. Последним, пока еще разрабатываемым стандартом серии CDMA2000 является 1x-EV-DV (EVolution Data/Voice). Он предусматривает скорости передачи данных до нескольких десятком Мбит/сек, а также улучшения в качестве передачи данных.

В стандарте CDMA One данные передавались по тем же системам, что и голос. Это значительно ограничивало максимальную скорость передачи данных и общую емкость сети. В стандарте CDMA2000 была введена специальная сеть для передачи данных: Packet

Core Network (PCN) – сеть с коммутацией пакетов, которая позволяет передавать данные с большей скоростью и безопасностью.

Особенности стандарта CDMA2000

Также как и CDMA One стандарт CDMA2000 использует для работы тот же частотный диапазон, разделенный на аналогичные полосы частот 1,25 МГц. Это значительно облегчает переход операторов к новому стандарту, так как отпадает необходимость в приобретении новой частотной лицензии, что является одним из основных сдерживающих факторов в развертывании сетей нового стандарта. Благодаря подобной преемственности операторы могут постепенно замещать оборудование более новым и тем самым снизить до минимума проблемы, возникающие при обновлении стандарта, такие как низкая распространенность абонентского оборудования, большие первоначальные затраты, организация транспортных каналов и т.п.

Стандарт CDMA2000 улучшает показатель спектральной эффективности, т.е. эффективности использования частотных ресурсов за счет следующих улучшений:

1. Усовершенствованный алгоритм управления мощностью. Стандарт CDMA2000 использует кодовый метод доступа абонентов в сеть – CDMA (code division multiple access). Главным его недостатком является возникновение интерференции при увеличении числа абонентов. Однако благодаря механизму управления мощности для каждого мобильного терминала (MS) будет задана оптимальная мощность на данный момент времени, которая позволит с одной стороны не мешать другим абонентам, а с другой – обеспечить требуемый уровень качества обслуживания (QoS). Основным изменением в алгоритме управления мощностью MS стало увеличения частоты (до 16 раз) отправки команд на изменения мощности передачи данных абонентского оборудования. Благодаря этому удалось в 1,5 раза увеличить емкость сети.

2. Разнесенная передача (Transmit diversity) – каждая антенна может принимать/передавать до 6 различных сигналов. При этом MS выбирает частоту с наибольшим уровнем сигнала. Благодаря Transmit diversity можно значительно снизить уровень ошибок в канале связи и увеличить качество сигнала рис.4.73

3. Умные антенны (Smart Antennas). Они позволяют формировать отдельные пучки сигнала для каждого абонента с точностью в несколько десятков метров. Благодаря Smart antenna реализован так называемый пространственный метод множественного доступа абонентов (SDMA - Space Division Multiple Access). Это позволяет значительно снизить общий уровень интерференции в радио эфире и существенно расширить емкость сети рис.4.74

4. Стандарт CDMA2000 предусматривает использование QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) – модуляции

5. Улучшенная технология цифрового кодирования

6. В стандарте CDMA2000 используются более эффективные вокодеры и большее число расширяющих кодов (Walsh code). В стандарте CDMA One на одной несущей максимально могли быть использованы 64 расширяющих кода. В CDMA2000 можно использовать до 128 кодов. Таким образом, в каждой соте может быть обслужено в 2 раза больше низкоскоростных соединений, например голосовых соединений.

Эти и другие преимущества позволили в разы увеличить скорость передачи абонентских данных через радио соединение и увеличить емкость сети.

Необходимые изменения для перехода от CDMA One к CDMA2000

Как уже отмечалось ранее, если оператор уже эксплуатирует сеть стандарта CDMA One, то ему не обязательно строить совершенно новую сеть для стандарта CDMA2000, а достаточно выполнять ряд аппаратных и программных обновлений. Изменения коснутся всех элементов сети: не только сети доступа, но и системы коммутации. Кроме того должна быть добавлена новая сеть пакетной коммутации. В соответствии с отмеченными выше нововведениями для перехода от CDMA One к CDMA2000 необходимо сделать следующие изменения:

1. На элементах системы коммутации MSC, VLR, HLR должно быть сделано обновление программного обеспечения. Это необходимо для того, чтобы CN могла обеспечивать процедуры аутентификации и авторизации пакетных соединений.

2. Обновление аппаратного обеспечения должно быть проведено для базовых станций (BTS). Это связано с существенными изменениями в радио интерфейсе.

3. Также должен быть заменен приемопередатчик мобильного терминала, по тем же причинам.

4. Обновление программного обеспечения должно быть проведено для контроллера базовых станций (BSC). В результате этого BSC будет маршрутизировать пакеты не к сети с коммутацией пакетов, которой является коммутатор, пришедший от сети CDMA One, а к новой сети с коммутацией пакетов.

5. Главным новшеством является введение новой сети с коммутацией пакетов (PS). В нее входит непосредственно пакетный коммутатор, а также элемент обеспечивающий аутентификацию абонентов, пользующихся услугами этой сети.

Структура сети стандарта CDMA2000

За счет того, что спектр и качество предоставляемых сетью CDMA2000 услуг расширились, в структуре сети появились некоторые новые элементы, а функции прежних претерпели изменение 4.75. Ниже представлены новые элементы сети и рассмотрены их основные функции.

Мобильная станция (MS - Mobile Station). В сети CDMA2000 мобильная станция – это абонентское устройство, не обязательно мобильный телефон. Это может быть какое-либо иное устройство с модулем доступа к услугам сотовой сети и используемое, например, для доступа в сеть Интернет с компьютера.

Мобильная станция взаимодействует с RAN для получения необходимых ресурсов сети с целью доступа к пакетной сети, и далее следит за состоянием выделенных ресурсов (заняты, свободные, режим ожидания). MS может буферизировать данные пользователя, если в текущий момент требуемые ресурсы сети недоступны.

После включения, MS автоматически регистрируется в сети, и в HLR отмечается ее текущее состояние. Эта процедура происходит в следующем порядке:

1. Аутентификация MS.
2. Текущее местоположение MS заносится в HLR.
3. Далее MSC сообщается набор разрешенных услуг сети.

После успешного прохождения указанных процедур мобильная станция может совершать голосовые вызовы и передавать данные. Последняя услуга может быть предоставлена с использованием одной из двух сетей: с коммутацией пакетов или каналов, в зависимости от того факта: поддерживает ли MS стандарт CDMA2000. В случае если мобильное устройство совместимо только со стандартом IS-95 (CDMA One) передача данных возможна лишь через сеть с коммутацией пакетов. При этом скорость передачи не будет превышать 19,2 кбит/сек. Если же терминал совместим с IS-2000 (CDMA2000), то может быть сделан выбор между двумя возможными способами передачи данных через сеть оператора. Скорость передачи пакетных данных для сети CDMA2000 1x может достигать 144 кбит/сек.

Сеть радио доступа (RAN - Radio Access Network). Сеть радио доступа является входной точкой абонента во всю сеть оператора, независимо от предоставляемой услуги. Из-за добавления в сеть оператора нового домена с коммутацией пакетов на сеть доступа были возложены новые функции: идентификация абонентов в сети, обслуживание соединений к сети с коммутацией пакетов, проверять права доступа абонента к запрашиваемому сервису.

Базовая станция (BTS - Base Station Transceiver) – контролирует все действия на радио интерфейсе между BTS и MS, а также служит интерфейсом между сетью и мобильными устройствами. Управление радио ресурсами, например, назначение частотных каналов, разделение сот, управление мощностью передачи и т.п. относится к задачам базовой станции. В дополнение к этому, BTS организует сквозные соединения для прохождения трафика между MS и BSC для обеспечения минимальных временных задержек в процессе передачи пользовательских данных и сигнализации.

Контроллер базовых станций (BSC - Base Station Controller) – передает сообщения сигнализации и голосовые данные между сотами и MSC (Mobile Switching Centre). Кроме того, BSC выполняет некоторые процедуры связанные с мобильностью абонентов, например, контролирует процедуру хэндовера между сотами в случае необходимости.

Устройство контроля пакетных соединений (PCF - Packet Control Function) – новый элемент сети CDMA2000, которого не было в CDMA One. Его главной задачей является маршрутизация пакетов между BTS и PDSN. В процессе пакетной сессии PCF будет назначать доступные радио ресурсы для абонентов сети, в соответствии с их потребностями и оплаченным объемом услуг. Главная задача PCF заключается в планировании распределения ресурсов сети доступа, включая радио ресурсы, так чтобы они могли быть максимально эффективно использованы и при этом не допустить снижения качества предоставляемых услуг.

Сеть коммутации (NSS (Network Switching System)) не претерпела существенных изменений по сравнению с системой CDMA One. В нее также входят MSC, который отвечает за установление голосовых соединений в системе, а также ряд регистров (HLR, VLR и др.), в которых хранится информация об абонентах.

Сеть пакетной коммутации (PCN - Packet Core Network). Это совершенно новая система в сети сотовой связи, отвечающая за передачу пользовательских пакетов из/в внешние сети (например Интернет), а также за аутентификацию абонентов, назначение IP-адресов и некоторые другие.

Обслуживающий узел пакетной сети, объединенный с внешним агентом (PDSN/FA - Packet Data Serving Node / Foreign Agent) – это шлюз между сетью радио доступа и внешними пакетными сетями. Это устройство выполняет следующие функции:

- управляет соединениями между системой базовых станций и пакетной сетью, включая установление, поддержание и завершение сессий;

- предоставляет IP-адреса абонентам сети;

- выполняет маршрутизацию пакетом между сетью оператора и внешними сетями передачи данных;

формирует и передает счета за оказанные услуги в систему биллинга;
управляет абонентскими услугами, в соответствии с профилями абонентов, полученными из AAA-сервера;

проводит аутентификацию самостоятельно. Либо передает запрос на аутентификацию к AAA-сервер.

AAA (Authentication, Authorization, and Accounting) - сервер используется для проведения процедур аутентификации и авторизации абонентов, а также для хранения абонентских данных с целью биллинга и выставления счетов.

Домашний агент (НА - Home Agent) предоставляет бесшовный роуминг к другим сетям стандарта CDMA2000. НА предоставляет якорный IP-адрес для MS, служащий для передачи любых пользовательских данных через исходную сеть. Кроме того, домашний агент поддерживает регистрацию абонентов, передачу пакетов к PDSN, а также (опционально) создание защищенного соединения.

Стандарты CDMA2000 1x-EV-DO и CDMA2000 1x-EV-DV

С появлением стандарта CDMA2000 первой фазы, следом началась разработка последующих поколений данного стандарта. Такое стремительное развитие технологий было обусловлено стремительным ростом потребностей абонентов в услугах передачи данных. В результате проведенной работы организацией 3GPP2 в 2002 году был выпущен стандарт CDMA2000 1x-EV-DO (evolution data only) который предлагал скорости передачи данных до 2,4 Мбит/сек, что в 20 раз выше чем, предыдущий стандарт. Такое достижение было сделано в первую очередь за счет внедрения новых технологий на радио интерфейсе. В частности наряду с кодовым разделением каналов, был внедрен временной метод доступа абонентов в сеть (TDMA - Time Division Multiple Access). Для каждого абонента, при этом, выделялся отдельный таймслот, который предотвращал возможность возникновения интерференции в соте.

Благодаря дальнейшим разработкам, более поздние релизы стандарта CDMA2000 1x-EV-DO позволяли использовать одновременно несколько таймслотов и несущих, что увеличивало максимальную скорость передачи данных свыше 70 Мбит/сек (Rel. B). А в планируемом Rel. C скорость уже может достигать 280 Мбит/сек что соответствует стандарту LTE, относящемуся к 4G.

Разработанный в 2003 году стандарт CDMA2000 1x-EV-DV (Evolution Data/Voice) предполагает возможность одновременной передачи в радио эфире на одной несущей и голоса, и данных. Однако такая концепция не нашла существенного развития в связи с

развитием направления ALL-IP, которое предусматривало передачу голоса по сетям с IP-коммутацией.

3G. TD-SCDMA (Time Division Synchronous Code Division Multiple Access)

Стандарт TD-SCDMA (Time Division Synchronous Code Division Multiple Access) – множественный доступ с синхронным кодовым и временным разделением – это стандарт 3G, нашедший свое применение в Китае. Одной из причин разработки этого стандарта была попытка получить независимую от западного рынка сеть сотовой связи. Так же как и другие стандарты третьего поколения TD-SCDMA предоставляет расширенные возможности по передаче данных. Этот стандарт разрабатывался совместно компанией Siemens и Китайской академией технологий связи (CATT - China Academy of Telecommunications Technology). В марте 2001 года 3GPP (Third Generation Partnering Project) принял его как часть (метод доступа) четвертого выпуска стандарта UMTS.

Преимущества TD-SCDMA

Рассмотрим основные отличия и преимущества стандарта TD-SCDMA перед другими стандартами сотовой связи:

1. Сеть хорошо подходит для асимметричного трафика 3G приложений, например, доступ в сеть Интернет. Приложения реального времени такие как голосовые соединения и мультимедиа, и они генерируют симметричный трафик. Для оффлайн приложений (e-mail, доступ в сеть Интернет) требования к задержкам меньше, а трафик обычно асимметричен, причем в направлении downlink (от BTS к MS) передается в несколько раз большие объемы данных. Для тех стандартов, которые требуют отдельных полос частот для uplink и downlink (GSM, CDMA2000, UMTS и т.п.) во время использования асимметричных приложений, занимаемые данные остаются не задействованными. Это в итоге приводит к уменьшению спектральной эффективности стандарта. В свою очередь, в стандарте TD-SCDMA данные в uplink и downlink передаются в одной полосе частот, что позволяет подобрать скорость полосы в точной необходимости с требованиями приложений. Причем скорость может быть настроена достаточно точно, с небольшим шагом от 1,2 кбит/сек до 2Мбит/сек. Эти особенности позволяют более эффективно использовать имеющийся спектр частот.

2. Высокая спектральная эффективность приводит к увеличению емкости сети. Как отмечалось выше: в стандарте TD-SCDMA используется общая полоса на радиоинтерфейсе в uplink и downlink, что позволяет использовать все выделяемые ресурсы без остатка. Кроме того, благодаря другим технологиям (смарт-антенны, динамическое распределение ресурсов и т.п.) удается снизить интерференцию в соте, и, соответственно,

увеличить емкость сети (до 3-5 раз по сравнению с GSM). Это особенно важно в пригородных областях с плотной застройкой.

3. Увеличенная гибкость в использовании частотного ресурса и построении сети, которая обусловлена полосой пропускания 1,6 МГц.

К другим преимуществам TD-SCDMA можно отнести пониженное потребление мощности, экономия транспортных ресурсов, упрощенное планирование сети.

Особенности построения радио интерфейса TD-SCDMA

Все современные системы сотовой связи предусматривают дуплексный режим передачи информации, т.е. возможна одновременная передача данных в двух направлениях: uplink (от MS к BTS) и downlink (от BTS к MS). Такая возможность важна для предоставления таких услуг как телефония, видеозвонок, доступ в сеть Интернет и т.д. Существует два основных способа организации дуплексной связи: FDD (Frequency Division Duplex) и TDD (Time Division Duplex). В режиме FDD восходящий и нисходящий каналы передаются в разных непересекающихся частотных диапазонах. Этот режим достаточно прост в реализации, но при этом самый неэкономичный: в случае если наблюдается значительная асимметрия между uplink и downlink, то ресурсы в незагруженном направлении будут заняты, но не задействованы. В стандарте TD-SCDMA применяется другая технология - TDD (Time Division Duplex) – дуплекс с временным разделением. Он означает, что uplink и downlink передаются на одной частоте по очереди. Режим TDD гораздо более эффективен, т.к. позволяет динамически перераспределять ресурсы в обоих направлениях. Однако в этом случае необходима надежная система синхронизации между всем устройствам в сети, иначе возможно наложение сигналов, передаваемых в различных направлениях рис.4.76.

Стандарт TD-SCDMA также предусматривает временное разделение каналов между пользователями, т.е. TDMA (Time Division Multiple Access). Этот режим подразумевает разделение общего временного ресурса канала связи на таймслоты. TD-SCDMA использует фреймы длительностью 5 мс, каждый из которых разделен на 7 таймслотов. В зависимости от загрузки сети и потребностей абонентов таймслоты динамически распределяются между пользователями как в направлении uplink, так и в downlink.

Наряду с вышеуказанными технологиями в стандарте TD-SCDMA применяется еще один способ разделения каналов – кодовый (CDMA, Code Division Multiple Access). При этом каждому передатчику информации на радио интерфейсе назначается индивидуальный код, с помощью которого он кодирует исходящие данные. Приемник,

зная этот код, может принимать из эфира лишь ту информацию, которая закодирована кодом нужного отправителя. В стандарте TD-SCDMA возможна одновременная работа с 16 различными кодами в одном таймслоте на одной частоте.

Суммарно технологии TDD, TDMA и CDMA позволяют динамически перераспределять ресурсы сети, выделяемые для каждого абонента в зависимости от нагрузки сети и потребностей самого абонента (используемых им приложений). Кроме того, достигается максимальная спектральная эффективность, т.к. в случае максимальной нагрузки на сеть минимум ресурсов останется не задействованным.

Для доступа абонентов в сети стандарта TD-SCDMA среди всех прочих используется кодовый метод множественного доступа абонентов (CDMA). Главный принцип его работы основан на том, что каждому абоненту присваивается независимый (ортогональный) код, с помощью которого устройства абонента кодирует всю передаваемую им информацию. Благодаря тому, что коды независимые появляется возможность выделить (принять) из радио эфира информацию, переданную именно этим абонентом. Однако на практике невозможно сгенерировать достаточно много кодов для работы реальной сети сотовой связи, поэтому используются «почти» ортогональные. Таких кодов можно создать много, однако они обладают большим недостатком: при большом числе одновременно работающих устройств в эфире возникает интерференция, т.е. устройства начинают оказывать друг на друга влияние и при превышении определенного порога может возникнуть значительное искажение и потеря передаваемой информации. Именно интерференция является главным ограничивающим фактором пропускной способности и емкости системы TD-SCDMA.

В связи с вышесказанным возникает необходимость поиска различных способов борьбы с интерференцией. Стандарт TD-SCDMA предлагает целый набор таких методов:

1. Механизм определения совместной передачи (Joint detection). Он реализован в приемнике базовой станции в виде специального модуля и обеспечивает максимально точное выделение сигнала от каждого абонента из общего потока. Алгоритм Joint detection основан на том, что в сигнал от каждого абонента добавляется специальная тренировочная последовательность, которая при приеме позволяет оценить параметры радио канала, в том числе и уровень интерференции. Таким образом, приемник может заранее предугадать возможные проблемы и скорректировать принимаемый сигнал.

2. Умные антенны (Smart Antennas) представляют собой секторные антенны, которые могут передавать (принимать) сигнал из заранее определенной местности, часто ограниченной несколькими десятками метров. Благодаря им реализуется так называемый пространственный метод множественного доступа (SDMA - Space Division Multiple

Access) абонентов. Для эффективной работы смарт-антенн необходим надежный и точный алгоритм определения местоположения абонентов, который уже заложен в стандарте TD-SCDMA. Таким образом, сигнал для каждого абонента передается по отдельности и интерференции от совместной передачи сигналов удастся избежать. Однако на практике, такие антенны применяются достаточно редко из-за их высокой стоимости.

3. Динамическое распределение кодов, заключающееся в том, что коды для абонентов выделяются в различных (разрешенных) частотных диапазонах и временных интервалах, что дает возможность снизить общий уровень интерференции. В зависимости от используемого метода разделения каналов выделяют следующие методы динамического распределения:

временное динамическое распределение (TDMA) – трафиковые каналы выделяются в наименее интерферирующих таймслотах;

частотное динамическое распределение (FDMA) – трафиковые каналы выделяются на наименее интерферирующих частотных несущих (доступно 3 несущих по 1,6 МГц в пределах стандартной полосы 5 МГц);

кодовое динамическое распределение (CDMA) – для трафиковых каналов выделяются наименее интерферирующие коды;

пространственное динамическое распределение (SDMA) – основан на использовании смарт-антенн (описан выше).

4. В отличие от технологии WCDMA стандарт TD-SCDMA предусматривает четкую синхронизацию всех устройств. Необходимость синхронизации обусловлена в первую очередь использованием метода TDMA. Чтобы избежать наложение информации различных абонентов, передаваемых в соседних таймслотах и приемник, и передатчик должны точно знать структуру временных интервалов. Синхронизация также оказывает косвенную помощь в борьбе с интерференцией. Благодаря синхронизации обеспечивается надежная работа алгоритма Joint detection, а также смарт-антенн. Кроме того, синхронизация позволяет решать другие задачи и получить дополнительные преимущества:

высокая точность в определении местоположения;

возможность измерения «качества» соседних сот во временные интервалы, когда информация не передается;

благодаря синхронной работе можно добиться того же качества соединения без использования soft-хэндовера, ограничиваясь обычным (жестким) хэндовером.

Реализация и распространение стандарта TD-SCDMA

Первый релиз стандарта TD-SCDMA был опубликован в октябре 2004 года. Первые тестовые сети появились в 2005 году, а в коммерческую эксплуатацию сеть TD-SCDMA была запущена только в 2008 году в Китае компанией China Mobile. Лишь в 2009 году число пользователей TD-SCDMA перевалило цифру 1 млн.

В настоящее время к TD-SCDMA форуму присоединились множество известных телекоммуникационных компаний: Philips, Texas Instruments, Samsung, Intel, Nokia и мн.др. Такие организации как Siemens и Huawei предлагают полный спектр оборудования для строительства сетей данного стандарта. Несмотря на это, сети TD-SCDMA реализованы лишь в КНР.

Низкое распространение в мире TD-SCDMA, в первую очередь, обусловлено запоздалостью выпуска стандарта и, соответственно, разработки и наладке производства оборудования для него. К моменту запуска первых тестовых TD-SCDMA сетей стандарт UMTS уже широко шагнул по всему миру.

Однако TD-SCDMA нельзя полностью списывать со счетов, т.к. он предоставляет некоторые дополнительные преимущества по сравнению с другими 3G-стандартами. В частности, использование временного принципа разделения каналов (TDMA) позволяет повысить спектральную эффективность и, соответственно, получить большую емкость сети и предоставить абонентам более высокие скорости передачи информации.

4G. LTE - Long Term Evolution

Стандарты третьего поколения позволяют предоставить широкий перечень мультимедийных услуг и поддерживают скорости передачи данных до 14Мбит/сек. Это вполне соответствует запросам абонентов в настоящее время. Однако, объемы передаваемой информации в телекоммуникационных сетях растут с каждым днем. Чтобы удовлетворить потребности пользователей по скорости передачи данных и набору услуг хотя бы на 20 лет вперед необходим новый стандарт, уже четвертого поколения.

Работа над первым стандартом четвертого поколения - LTE (Long Term Evolution) началась в 2004 году организацией 3GPP. Главными требованиями, которые предъявлялись в процессе работы над стандартом были следующие:

Скорость передачи данных выше 100 Мбит/сек.

Высокий уровень безопасности системы

Высокая энергоэффективность

Низкие задержки в работе системы

Совместимость со стандартами второго и третьего поколений

В конце 2009 года в Швеции была запущена в коммерческую эксплуатацию первая сеть стандарта LTE.

Сети LTE поддерживают скорости передачи данных до 326,4 Мбит/сек. К примеру, загрузка фильма в хорошем качестве займет менее одной минуты. Таким образом, верхняя планка по скорости передачи данных практически снимается.

Смотрите также: Состояния мобильного терминала в сети LTE

Рассмотрим структуру сети LTE рис. 4.77:

Из схемы сети LTE, видно, что структура сети сильно отличается от сетей стандартов 2G и 3G. Существенные изменения претерпела и подсистема базовых станций, и подсистема коммутации. Была изменена технология передачи данных между оборудованием пользователя и базовой станцией. Также подверглись изменению и протоколы передачи данных между сетевыми элементами. Вся информация (голос, данные) передается в виде пакетов. Таким образом, уже нет разделения на части обрабатывающие либо только голосовую информацию, либо только пакетные данные.

Можно выделить следующие основные элементы сети стандарта LTE:

Serving SAE Gateway или просто Serving Gateway (SGW) – обслуживающий шлюз сети LTE. Предназначен для обработки и маршрутизации пакетных данных поступающих из/в подсистему базовых станций. По сути, заменяет MSC, MGW и SGSN сети UMTS. SGW имеет прямое соединение с сетями второго и третьего поколений того же оператора, что упрощает передачу соединения в /из них по причинам ухудшения зоны покрытия, перегрузок и т.п.

Public Data Network (PDN) SAE Gateway или просто PDN Gateway (PGW) – шлюз к/от сетей других операторов. Если информация (голос, данные) передаются из/в сети данного оператора, то они маршрутизируются именно через PGW.

Mobility Management Entity (MME) – узел управления мобильностью. Предназначен для управления мобильностью абонентов сети LTE.

Home Subscriber Server (HSS) – сервер абонентских данных. HSS представляет собой объединение VLR, HLR, AUC выполненных в одном устройстве.

Policy and Charging Rules Function (PCRF) – узел выставления счетов абонентам за оказанные услуги связи.

Все перечисленные выше элементы относятся к системе коммутации сети LTE. В системе базовых станций остался лишь один знакомый нам элемент – базовая станция, которая получила название eNodeB. Этот элемент выполняет функции и базовой станции,

и контроллера базовых станций сети LTE. За счет этого упрощается расширение сети, т.к. не требуется расширение емкости контроллеров или добавления новых.

Mobile WIMAX

Стандарт WIMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) – это технология высокоскоростной беспроводной передачи данных, которая в настоящее время нашла широкое распространение в качестве способа предоставления широкополосного абонентского доступа (рис. 4.78.). Разработкой этого стандарта занимается WIMAX Forum, а релизы публикуются со следующей нумерацией: "802.16x", где "x" – это буквенное обозначение версии. Они отличаются друг от друга, в первую очередь, способами модуляции и кодирования сигнала на радио-интерфейсе. Кроме того, стандарты с индексами "e" и "m" относятся к мобильным технологиям. Главное их отличие от предыдущих релизов заключается в возможности хэндовера между двумя сотами.

Споры о том, относятся ли 802.16e и 802.16m к стандартам сотовой связи ведутся уже давно. С одной стороны они разработаны на основе немобильных стандартов. Но с другой стороны эти стандарты имеют много внешних признаков сотовых систем связи. Главным из таких признаков является ячеистая структура радиопокрытия с возможностью переиспользования частот в другой географической зоне. Кроме того, Mobile WIMAX предоставляет возможность хэндовера между сотами, т.е. соединение установленное в области покрытия одной базовой станции может быть без разрыва передано в соседнюю соту. Также стандарты 802.16e и 802.16m позволяют пользоваться услугами сети во время движения, что является также схожим признаком с сотовыми системами связи. В заключении необходимо отметить большой радиус покрытия одной базовой станции (до 50 км), что в отличии от сетей стандарта WI-FI также позволяет отнести Mobile WIMAX к сетям сотовой мобильной связи.

Если стандарты 802.16e и 802.16m относятся к сотовым системам связи, то возникает следующий вопрос: к какому поколению они относятся? Их классификацию можно сделать на основе двух отличительных признаков: Во-первых, эти стандарты поддерживают скорости передачи данных в несколько сотен мегабит в секунду, что дает право поставить их в один ряд со стандартом LTE, т.е. отнести их к стандартам 4G. Во-вторых, Mobile WIMAX не предоставляет услугу голосовой передачи данных по коммутируемым соединениям. Этот сервис реализован в оконечных абонентских устройствах на программном уровне, а передача и коммутация осуществляется на основе IP-технологии, т.е. в Mobile WIMAX реализована поддержка технологии Voice

over IP (VoIP). Этот факт также является отличительной чертой стандартов четвертого поколения.

Стандарты Mobile WIMAX

Рассмотрим основные отличия стандартов 802.16e и 802.16m. Первый релиз 802.16e появился еще в 2005 году. Он предусматривает скорость передачи данных до 37 Мбит/сек в downlink (от базовой станции) и 17 Мбит/сек в uplink. Уже тогда была предусмотрена возможность хэндоверов между соседними базовыми станциями, а также роуминга, в том числе и международного в сетях других операторов. Максимально на одной несущей (10 МГц) может быть до 30VoIP соединений.

В релизе 802.16e 2009 года были введены ряд новшеств: полоса одного канала расширена до 20 МГц. Кроме того, теперь возможно использование до 2-х частотных каналов для одного соединения. Это позволило увеличить максимальную скорость передачи данных в downlink до 141 Мбит/сек, а uplink – до 138 Мбит/сек. Теперь может быть до 43 одновременно установленных голосовых соединений на одной несущей.

Стандарт 802.16m появился в начале 2010 года. Он предусматривает ряд изменений, которые позволяют более эффективно использовать частотный диапазон: несколько механизмов управления мощностью и смягчения интерференции на краю соты, 4x4 MIMO, улучшенная система автоматического перезапроса ошибочных сообщений HARQ и некоторые другие. Все эти нововведения дают возможность передачи данных в downlink до 365 Мбит/сек, а uplink – до 376 Мбит/сек. На одной полосе 20 МГц теперь могут одновременно поддерживаться до 80 VoIP соединений. Стандарт 802.16m также включает улучшенный сервис определения местоположения по базовым станциям, расширенные возможности рассылки широковещательных сообщений, более строгие меры безопасности. Теперь услуги Mobile WIMAX можно получить на скоростях до 350 км/час, а в некоторых случаях (в зависимости от частотного диапазона) до 500 км/час рис.

Структура сети Mobile WIMAX

Сеть Mobile WIMAX состоит из 2-х основных подсистем: ASN (Access Service Network) – сеть доступа и CSN (Connectivity Service Network) – сеть обеспечения услуг.

Сеть CSN. Согласно спецификациям WIMAX Forum определяется как набор функций, предоставляющих абонентам сети функции соединений.

К основным функциям CSN относятся:

Распределение -адресов и параметров между пользователями сети

Доступ к сети Internet.

Функции AAA

Контроль доступа абонентов в сеть, основанный на профилях пользователей

Туннелирование между сетями ASN-CSN

Биллинг и межоператорское взаимодействие

Туннелирование между CSN и роуминг

Мобильность между различными ASN, т.е. хэндовер между различными сетями доступа

Обеспечение сервисов WIMAX, а именно определение местоположение, предоставление соединений типа "точка-точка", резервирование соединений и т.п.

В сеть CSN могут входить такие элементы как роутеры, AAA сервер, базы данных абонентов, устройства преобразования сигнализации.

AAA (Authentication, Authorization, Accounting) сервер – устройство обеспечения авторизации, аутентификации и аудита пользователей сети. Служит для контроля доступа абонентов в сеть, назначения ключей шифрования, регистрации параметров соединений. Кроме того, хранит профили качества обслуживания абонентов

PF (Policy Function) – база данных содержащая сценарии выполнения приложений для различных услуг, предоставляемых сетью WIMAX.

НА (Home Agent) – элемент сети отвечающий за возможность роуминга. Отвечает за обмен данными между сетями разных операторов.

Сеть ASN. Сеть ASN – это набор сетевых элементов, предназначенных для организации доступа абонентов WIMAX в сеть.

ASN выполняет следующие основные функции:

Доступ абонентов в сеть по радиосоединению

Передача AAA-сообщений между CSN и абонентским оборудованием для обеспечения функций аутентификации, авторизации и аудита соединений.

Установление сигнальных соединений между и абонентским оборудованием

Управление радиоресурсами

Пейджинг, т.е. поиск абонентов в сети при поступлении входящего соединения

Мобильность абонентов (управление хэндоверами)

Туннелирование между сетями ASN-CSN

В состав сети ASN входят 2 основных элемента: BS (Base Station) – базовая станция. Основной задачей является установление, поддержание и разъединение радиосоединений. Кроме того, выполняет обработку сигнализации, распределения

ресурсов среди абонентов. В отличие от сетей LTE, UMTS и GSM базовая станция сети WIMAX берет на себя большую часть функций сети абонентского доступа.

ASN Gateway – предназначен для объединения трафика и сообщений сигнализации от базовых станций и дальнейшей их передачи в сеть CSN. В одной ASN может быть несколько ASN Gateway. Причем к разным ASN Gateway могут быть подключены одни и те же BS для распределения нагрузки. ASN Gateway – это, по-сути, агрегатор нагрузки сети доступа.

Также неотъемлемым элементом сети Mobile WIMAX является абонентское оборудование. В качестве такового могут выступать мобильный телефон, КПК, ноутбук/стационарный компьютер с встроенным или внешним адаптером и мн. др.

Таким образом, сеть Mobile WIMAX является полноценным представителем сетей сотовой связи, предоставляющая большие возможности, высокое качество и безопасность соединений. Это дает возможность предсказывать дальнейшее развитие этого стандарта и широкое распространение на практике.

Транкинговые системы связи: организация и управление

Транкинговая система радиосвязи (ТСР) — это система, в которой используется принцип равной доступности каналов для всех абонентов или групп абонентов. Этот принцип давно и повсеместно используется в телефонных сетях, откуда в радиосвязь и пришло слово "trunk" (пучок, т.е. пучок равнодоступных каналов). Транковые системы создавались как ведомственные и хорошо себя зарекомендовали в эксплуатации в течение 30 лет, однако, на текущий момент транкинговые системы являются морально устаревшими.

Суть транкинга заключается в следующем. Рассмотрим ситуацию, когда имеется три радиочастотных канала, каждый из которых жестко закреплен за несколькими группами пользователей. Для такой системы (точнее, трех отдельных систем) типична ситуация: канал 1 перегружен и абонент этой группы не может выйти на связь, в то же время каналы 2 и 3 не используются. В случае, когда три канала объединены в единую систему (т.е. присутствует элемент централизации – базовая станция) и равнодоступны для любой группы абонентов, тот самый абонент имеет возможность установления связи.

Основной, определяющей название, функцией оборудования ТСР является автоматическое предоставление свободного радиоканала по требованию абонента радиостанции и переключение на этот канал вызываемого абонента или группы абонентов. Кстати, с этой точки зрения беспроводные телефоны, работающие на общем наборе радиоканалов, также в совокупности образуют ТСР.

Транкинговые сети связи предоставляют широкий спектр услуг, а именно:

- внутренние вызовы (индивидуальный и групповой);
- роуминг;
- передача данных;
- режим непосредственной связи;
- тарификация;
- удаленное управление абонентскими радиостанциями.

Системы профессиональной радиосвязи характеризуются большим радиусом действия, поскольку, даже в простейшей ТСР, связь радиостанций между собой осуществляется через ретрансляторы базовой станции (БС). Кроме того, многозоновые ТСР имеют в своем составе несколько (от единиц до сотен) БС, каждая из которых обслуживает свою зону. При этом система установит соединение между радиостанциями независимо от их местоположения и, как правило, совершенно прозрачно для пользователей вызываемой и вызывающей радиостанций.

Кроме вызова группы радиостанций (имеется во всех ТСР), почти все системы обеспечивают индивидуальный вызов конкретной радиостанции. При этом многие современные ТСР обеспечивают разделение всего парка радиостанций на отдельные отряды. Отряд - это совокупность радиостанций, принадлежащих определенной организации, внутри которого осуществим индивидуальный и групповой вызов. Предполагается, что вызовы между отрядами в большинстве случаев запрещены. Таким образом, каждая из организаций, пользующихся ТСР, может иметь как бы свою изолированную систему связи.

Как правило, ТСР обеспечивают связь радиостанции с абонентами городской и нескольких учрежденческих телефонных сетей, причем их подключение к таким сетям может осуществляться как простейшим способом по абонентским линиям (аналогично офисным АТС), так и по соединительным линиям. В последнем случае, с точки зрения нумерации абонентов, ТСР становится частью телефонной сети города или учреждения.

Доступ к каждому виду услуг, предоставляемых системой, обычно программируется индивидуально для каждого абонента. Кроме того, программируется предельное время разговора и приоритет абонента. ТСР имеют также защиту от несанкционированного доступа в систему. Все радиостанции, рассчитанные на работу в ТСР, имеют возможность переключения в режим обычной радиостанции.

Оборудование любой ТСР рассчитано на коммерческую эксплуатацию, поэтому обязательно обеспечивает учет времени использования системы каждым абонентом (тарификацию).

На рис.4.79 приведены характеристики некоторых ТСП, заложенные в стандарты. Оборудование ТСП зачастую позволяет расширить эти возможности (несколько банков каналов в SmartTrunkII, многозоновая работа в LTR и т.п.).

Как следует из рисунка, наиболее впечатляющими возможностями обладает стандарт TETRA, что и неудивительно - он разработан с учетом опыта эксплуатации существующих ТСП.

В настоящее время наиболее эффективными в условиях России являются системы SmartTrunkII и MPT1327.

Классификация сетей транкинговой связи

Транкинговые системы радиосвязи классифицируют по следующим признакам.

1) По методу передачи речевой информации: аналоговые и цифровые. Передача речи в радиоканале аналоговых систем осуществляется с использованием частотной модуляции, шаг сетки частот обычно составляет 12,5 кГц или 25 кГц. Для передачи речи в цифровых системах используются различные типы вокодеров, преобразующих аналоговый речевой сигнал в цифровой поток со скоростью до 4,8 кбит/с.

2) В зависимости от количества БС и общей архитектуры: однозоновые или многозоновые системы. В системах первого типа имеется одна БС, в системах второго типа - несколько БС с возможностью роуминга.

3) По методу объединения БС в многозоновых системах. БС могут объединяться с помощью единого коммутатора (системы с централизованной коммутацией), или соединяться друг с другом непосредственно, или через системы с распределенной коммутацией (СОП).

4) По типу многостанционного доступа: FDMA, FDMA+TDMA. В большинстве ТСП используется многостанционный доступ с частотным разделением (FDMA), включая цифровые системы. Комбинация FDMA и многостанционного доступа с временным разделением (TDMA) используется в системах стандарта TETRA.

5) По способу поиска и назначения канала: системы с децентрализованным (СДУ) и централизованным (СЦУ) управлением. В СДУ процедуру поиска свободного канала выполняют абонентские радиостанции (АР). В этих системах ретрансляторы БС обычно не связаны друг с другом и работают независимо. Особенностью СДУ является относительно большое время установления соединения между абонентами, растущее с увеличением числа ретрансляторов. Такая зависимость вызвана тем, что АР вынуждены непрерывно последовательно сканировать каналы в поисках вызывного сигнала (последний может поступить от любого ретранслятора) или свободного канала (если

абонент сам посылает вызов). Представителями данного класса являются системы стандарта SmarTrunk.

В СЦУ поиск и назначение свободного канала производится на БС. Для обеспечения нормального функционирования таких систем организуются каналы двух типов: рабочие (трафика, разговорные) и управления. Все запросы на предоставление связи направляются по каналу управления, по этому же каналу БС извещает абонентские устройства о назначении канала, отклонении запроса, или о постановке запроса в очередь.

б) По типу канала управления (КУ). Во всех ТСП каналы управления являются цифровыми. По принципу действия КУ можно выделить три типа:

- сканирующие ТСП;
- ТСП с распределенным управляющим каналом;
- ТСП с выделенным управляющим каналом.

Рассмотрим подробнее каждый из типов КУ.

Принципы построения транкинговых сетей

На рис. 4.80 представлена обобщенная структурная схема однозоновой ТСП. В состав БС, кроме радиочастотного оборудования (ретрансляторы, устройство объединения радиосигналов, антенны) входят также коммутатор, устройство управления (УУ) и интерфейсы к внешним сетям.

Ретранслятор - набор приемопередающего оборудования, обслуживающего одну пару несущих частот. До последнего времени в подавляющем большинстве ТСП одна пара несущих означала один канал трафика (КТ). В настоящее время, с появлением систем стандарта TETRA и системы EDACS ProtoCALL, предусматривающих временное уплотнение, один РТ может обеспечить два или четыре КТ.

Антенны БС, как правило, имеют круговую диаграмму направленности. При расположении БС на краю зоны применяются направленные антенны. БС может располагать как единой приемопередающей антенной, так и отдельными антеннами для приема и передачи. В некоторых случаях на одной мачте может размещаться несколько приемных антенн для борьбы с замираниями, вызванными многолучевым распространением.

Устройство объединения радиосигналов позволяет использовать одно и то же антенное оборудование для одновременной работы приемников и передатчиков на нескольких частотных каналах. РТ работают только в дуплексном режиме, разнос частот приема и передачи составляет от 45 МГц до 3 МГц.

Коммутатор в однозоновой ТСР обслуживает весь ее трафик, включая соединение абонента с ТфОП и все вызовы, связанные с передачей данных.

Устройство управления обеспечивает взаимодействие всех узлов БС. Оно также обрабатывает вызовы, осуществляет аутентификацию вызывающих абонентов, ведение очередей вызовов, внесение записей в БД повременной оплаты. В некоторых системах УУ регулирует максимально допустимую продолжительность соединения с ТСР. Как правило, используются два варианта регулировки: уменьшение продолжительности соединения в заранее заданные часы наибольшей нагрузки, или адаптивное изменение в зависимости от текущей нагрузки.

Интерфейс к ТфОП реализуется в ТСР различными способами. В недорогих системах (например, SmartTrunk) подключение производится по двухпроводной коммутируемой линии. Более современные ТСР имеют в составе интерфейса к ТфОП аппаратуру прямого набора номера, обеспечивающую доступ к абонентам транкинговой сети с использованием стандартной нумерации АТС. Ряд систем использует цифровое ИКМ-соединение с аппаратурой АТС.

Одной из основных проблем при регистрации и использовании транкинговых систем в России является проблема их сопряжения с ТфОП. При исходящих вызовах транкинговых абонентов в телефонную сеть сложность заключается в том, что некоторые транкинговые системы не могут набирать номер в декадном режиме по абонентским линиям в электромеханических АТС. Таким образом, необходимо использовать дополнительное устройство преобразования тонального набора в декадный. Входящая связь от абонентов ТфОП к радиоабонентам оказывается также проблематичной по ряду причин. Большинство транкинговых сетей сопрягаются с телефонной сетью по двухпроводным абонентским линиям. В этом случае после набора номера ТфОП требуется донабор номера радиоабонента. Однако после полного набора номера абонентской липни и замыкания шлейфа управляющим устройством транкинговой системы телефонное соединение считается установленным, и дальнейший набор номера в импульсном режиме затруднен, а в некоторых случаях невозможен. Применяемый в системе SmartTrunk II детектор «щелчков» не гарантирует правильности импульсного донабора, так как качество входящих из абонентской линии «импульсов-щелчков» зависит от ее электрических характеристик, длины и т.д.

Телефонный интерфейс ELTA 200 предназначен для сопряжения транкинговых систем связи разных типов с ТфОП; интерфейс позволяет сопрягать транкинговые системы связи и ТфОП по цифровым каналам (2,048 Мбит/с), трехпроводным соединительным линиям с декадным набором номера или по четырехпроводным каналам

тональной частоты с системами сигнализации различных типов с ведомственными телефонными сетями.

Соединение с ТфОП является традиционным для ТСР, но в последнее время все более возрастает число приложений, предполагающих передачу данных, в связи с чем наличие интерфейса к сетям передачи данных (СПД) также становится обязательным.

Терминал технического обслуживания и эксплуатации располагается, как правило, на БС. Терминал предназначен для контроля за состоянием системы, проведения диагностики неисправностей, тарификации, внесения изменений в БД абонентов. Большинство ТСР имеют возможность удаленного подключения терминала через ТфОП или СПД.

Необязательными, но характерными элементами ТСР являются диспетчерские пульты (ДП). ТСР используются в первую очередь потребителями, работа которых требует наличия диспетчера - службы охраны, скорая медицинская помощь, пожарная охрана, транспортные компании, муниципальные службы. ДП могут включаться в систему по абонентским радиоканалам, или подключаться по выделенным линиям непосредственно к коммутатору БС. В рамках одной ТСР может быть организовано несколько независимых сетей связи. Пользователи каждой из таких сетей не будут замечать работу соседей и не смогут вмешиваться в работу других сетей. Поэтому в одной ТСР могут работать несколько ДП, различным образом подключенных к ней.

Абонентское оборудование ТСР включает в себя широкий набор устройств. Как правило, наиболее многочисленными являются полудуплексные РС, так как они в наибольшей степени подходят для работы в замкнутых группах. В основном это функционально ограниченные устройства, не имеющие цифровой клавиатуры. Их пользователи имеют возможность связываться лишь с абонентами внутри своей рабочей группы, а также посылают экстренные вызовы диспетчеру. Существуют и полудуплексные РС с широким набором функций и цифровой клавиатурой, но они, будучи существенно дороже, предназначены для более узкого круга абонентов.

В ТСР постепенно находит применение новый класс абонентских устройств - дуплексные РС, напоминающие сотовые телефоны, но обладающие значительно большей функциональностью по сравнению с последними.

Как полудуплексные, так и дуплексные транкинговые РС выпускаются не только в портативном, но и в автомобильном исполнении. Как правило, выходная мощность передатчиков автомобильных РС выше.

Относительно новым классом устройств для ТСР являются терминалы ПД. В аналоговых ТСР терминалы ПД - это специализированные радиомодемы,

поддерживающие соответствующий протокол радиointерфейса. Для цифровых систем более характерно встраивание интерфейса ПД в АР различных классов. В состав автомобильного терминала ПД часто включают спутниковый навигационный приемник системы Global Position System (GPS), предназначенный для определения текущих координат и последующей передачи их диспетчеру на пульт.

В ТСП используются также стационарные РС, преимущественно для подключения ДП. Выходная мощность передатчиков стационарных РС приблизительно такая же, как у автомобильных.

Архитектура многозоновых ТСП может строиться по двум принципам. Если определяющим фактором является стоимость оборудования, используется распределенная межзональная коммутация. Каждая БС в такой системе имеет свое собственное подключение к ТфОП. При необходимости вызова из одной зоны в другую он производится через интерфейс ТфОП, включая процедуру набора телефонного номера. Кроме того, БС могут быть непосредственно соединены с помощью физических выделенных линий связи.

Использование распределенной межзональной коммутации целесообразно лишь для систем с небольшим количеством зон и с невысокими требованиями к оперативности межзональных вызовов (особенно в случае соединения через коммутируемые каналы ТфОП). В системах с высоким качеством обслуживания используется архитектура с ЦК. Структура многозоновой ТСП с ЦК изображена на рис. 4.81.

Основной элемент этой схемы - межзональный коммутатор. Он обрабатывает все виды межзональных вызовов, т.е. весь межзональный трафик проходит через один коммутатор, соединенный с БС по выделенным линиям. Это обеспечивает быструю обработку вызовов, возможность подключения централизованных ДП. Информация о местонахождении абонентов системы с ЦК хранится в единственном месте, поэтому ее легче защитить. Кроме того, межзональный коммутатор осуществляет также функции централизованного интерфейса к ТфОП и СКП, что позволяет при необходимости полностью контролировать как речевой трафик ТС, так и трафик всех приложений ПД, связанный с внешними СПД, например Интернет. Таким образом, система с ЦК обладает более высокой управляемостью.

Системы широкополосного беспроводного доступа

В настоящее время большинство телекоммуникационных услуг предоставляются через узкоспециализированные независимые друг от друга сети. Тем не менее, современные методы цифровой обработки сигнала предоставляют возможность конвергенции информационных потоков путем преобразования всех их видов в единый поток с возможностью его передачи по единой широкополосной сети связи. Одновременно предоставление пользователям широкого набора современных услуг связи настоятельно требует создания широкополосных сетей доступа, что часто сдерживается необходимостью прокладки новых кабелей. Одним из эффективных решений этой проблемы является использование систем беспроводного широкополосного доступа.

Создание информационно-телекоммуникационной инфраструктуры на базе сетей широкополосного доступа, в том числе беспроводных, является основой для создания мультисервисной телекоммуникационной сети во многих странах мира. Беспроводные сети требуют выделения радиочастотного ресурса, достаточного для предоставления всех видов телекоммуникационных услуг.

Основной целью развертывания сетей на базе систем широкополосного беспроводного доступа (BWA – Broadband Wireless Access) является предложение экономически эффективных решений для создания широкополосных сетей доступа с целью доставки услуг связи. Они могут быть предназначены для работы как в одностороннем, так и в двухстороннем (интерактивном) режиме. В соответствии с этим оборудование BWA использует радиочастоты в диапазонах от 2 до 60 ГГц.

Дело в том, что, несмотря на наличие в развитых странах сравнительно большого числа различных классов пользователей, получающих услуги телефонии, передачи данных, доступа в Интернет и пр., чувства полного удовлетворения не наблюдается. Хорошо известно, что многие уже использующиеся и только готовящиеся к использованию сетевые решения имеют свои известные недостатки, заключающиеся либо в невысоких скоростях передачи, либо в организационных проблемах, либо просто в высоком уровне необходимых инвестиций для тотального охвата потенциального электората, что свойственно, прежде всего, фундаментальным кабельным решениям. Кроме того, свежие ветры либерализации рынка телекоммуникаций выявляют новых желающих стать его потенциальными игроками, чтобы занять там достойную нишу. Ну а выдача лицензий и радиочастот сулят новые доходы в национальный бюджет.

Беспроводные решения имеют преимущества, позволяющие производить выборочное (адресное) обслуживание клиентов без необходимости вкладывания значительных инвестиций при строительстве сетей КТВ. Операторы сетей на базе систем

ВВА имеют больше степеней свободы, позволяя адресно вкладывать инвестиции, что, как представляется, дорогого стоит. И ограничения предоставляемого ими сервиса зависят лишь от наличия доступного радиочастотного ресурса.

Сети ВВА могут использоваться для доставки широкополосных и узкополосных услуг связи в интересах категорий заинтересованных пользователей, а также могут служить основой для создания транспортных сетей в интересах сетей связи назначения (ТВ-вещания, доступа в Интернет, сотовой радиотелефонной связи). Сети ВВА развертываются преимущественно в местах с высокой концентрацией потенциальных пользователей (например, в крупных городах), однако, это не исключает их использование для организации телекоммуникационного обслуживания в отдельных населенных пунктах. Сети ВВА являются наиболее целесообразным решением при организации массового обслуживания населения по доставке услуг ТВ-вещания и Интернет-вещания.

Организация сетей персонального радиовызова

Пейджинговая связь – это радиотелефонная связь когда, пересылка по телефону продиктованных абонентом-отправителем сообщений и прием их по радиоканалу абонентом-получателем обеспечивается с помощью пейджера – радиоприемника с жидкокристаллическим дисплеем. На пейджере высвечиваются принятые буквенно-цифровые тексты. Суть пейджинговой связи заключалась в том, что абонент (корреспондент) по одному каналу связи посылает сообщение на коммутатор, где производится его запись, которая затем по другому каналу связи передается другому абоненту (получателю).

История пейджера, как средства персонального радиовызова началась с середины 1950-х годов в Англии. Первое такое устройство было разработано в 1956 году. Количество абонентов могло быть не более 57. Пейджеры содержали несколько настроенных контуров, отслеживающих характерную последовательность низкочастотных сигналов (тонов). При получении этих тонов устройство подавало звуковые сигналы. Поэтому такие пейджеры называют тональными. Когда абонент получал тоновый сигнал, он должен был поднести устройство к уху и в речевой форме прослушать сообщение, которое передавал диспетчер.

Сети персонального радиовызова (СПР), или пейджинговые сети (paging - вызов), - это сети односторонней мобильной связи, обеспечивающие передачу коротких сообщений из центра системы (с пейджингового терминала) на миниатюрные абонентские приемники (пейджеры).

В простейшем случае СПР состоит из пейджингового терминала (ПТ), базовой станции (БС) и пейджеров. Терминал, включающий пульт оператора и контроллер системы, выполняет все функции управления системой. БС состоит из радиопередатчика и антенно-фидерного устройства и обеспечивает передачу пейджинговых сигналов на всю зону действия системы, радиус которой может составлять до 100 км. Пейджеры осуществляют прием тех сообщений, которые им адресованы. В более сложных случаях рис.4.82. СПР может иметь несколько радиопередатчиков, по возможности равномерно распределенных в пределах зоны действия, что позволяет более надежно обеспечить связью всю зону.

Сети, существовавшие в то время, носили местный характер и служили нуждам конкретных служб. Пользователями первой сети в Англии стали врачи, служащие аэропортов. Некоторые подобные сети существуют и сегодня.

К концу 2000 года число владельцев пейджеров в европейских странах превысило 20 миллионов.

История пейджинговой связи в России (тогда еще СССР) началась в конце 1960-х годов. Системы персонального радиовызова широко использовались отдельными государственными структурами. В 1980 году во время московской Олимпиады очень широко использовался пейджер. В 1990-х годах пейджер начал бурно развиваться, но только до тех пор, пока не появились сотовые телефоны – средство двухсторонней связи.

Правда, был разработан твейджер–пейджер с возможностью отправления сообщений, более дешевый, чем сотовый телефон. Но он не смог конкурировать с сотовым телефоном, обеспечивающим двухстороннюю голосовую связь. Поэтому с момента начала развития сотовой связи развитие пейджера остановилось. В большинстве крупных городов пейджинговые компании закрылись, уступив место операторам сотовой связи.

Новые бизнес-модели рынка услуг подвижной связи

Последними достижениями в области предоставления услуг подвижной связи на сегодняшний день следует считать:

создание компаний, использующих модель мобильной виртуальной сети;

внедрение услуги сохранения (переносимости) телефонного номера при смене оператора.

Термин «Переносимость мобильного номера» (Mobile Number Portability – MNP) определяет совокупность средств, обеспечивающих абоненту сети подвижной связи возможность сохранить свой номер при переходе к другому оператору сети подвижной

связи в пределах одной страны. Услуга MNP подразумевает, что абонент меняет оператора и/или поставщика услуг, сохраняя при этом тот же номер для получения обслуживания того же типа.

Датой рождения услуги MNP считается 1 апреля 1997 г. В этот день на территории небольшого города республики Сингапур вступила в действие MNP. В Европе подобная система действует с 2002 г. С ноября 2003 г. дан коммерческий старт услуге в сотовых сетях США. Тайвань запустил ее в 2005 г., а Япония и Новая Зеландия – в 2006 г. Пионерами в области MNP в Европе были самые либеральные страны континента — Великобритания (1998) и Голландия (1999).

Нормативным актом, который ввел систему MNP для стран Европейского Союза, считается принятая в марте 2002 г. Европейским Парламентом Директива 2002/22/ЕС «О всемирных услугах».

В соответствии с этой директивой все страны-участники ЕС обязаны обеспечивать абонентам беспрепятственный переход от оператора к оператору. Действовавшее до этого законодательство Европейского Союза также предписывало государствам-членам осуществлять переносимость телефонных номеров, но не распространяло это обязательство на номера мобильной связи. Принципы, установленные Директивой, должны быть воплощены в национальных нормативных актах государств-членов ЕС.

В Европе и США услугой MNP пользуются гораздо реже, чем в Азии. По данным исследовательской группы «Современные телекоммуникации», если на Западе число перенесенных номеров может достигать 5% через один–два года после ввода услуги, то в Гонконге 95% абонентов поменяли оператора в первый год после ее введения. Скорость, с которой абоненты в разных странах меняют оператора, обусловлена в первую очередь простотой административных процедур и тарифами на смену номера.

Услуга MNP не является рыночной в полной мере. В большинстве зарубежных стран право абонентов на услугу переноса номера было инициировано «сверху» и закреплено законодательно. Основной целью внедрения услуги было обеспечение конкурентной среды, снижение тарифов и рост качества обслуживания абонентов.

Так как внедрение услуги иницируется сверху, операторы, работающие в данных странах, должны в обязательном (законодательном) порядке обеспечить техническую возможность реализации услуги MNP на своих сетях, что требует от них дополнительных затрат по модернизации сетей, которые не компенсируются государством. Для снижения противодействия со стороны участников рынка, регулирующие органы обычно оставляют операторам возможность самостоятельно устанавливать тарифы на административные

процедуры и транзакции, связанные с перенаправлением трафика от одного оператора к другому из-за переноса номера.

Прямая выгода для многих операторов от внедрения услуги MNP не всегда поддается оценке. Услуга MNP сама по себе не является источником значительных прямых доходов. Косвенная выгода для оператора проявляется в возможности изменить положение оператора на рынке, в основном путем привлечения новых клиентов.

Анализ зарубежного опыта показывает, что лишь часть операторов берет деньги за факт переноса номера, многие делают это бесплатно. Однако при этом тарифицируются дополнительные издержки, связанные с маршрутизацией вызова на перенесенный номер. Как следствие, стоимость звонка на перенесенный в другую сеть номер может значительно отличаться от «номинального» тарифного плана. С одной стороны, это является дополнительным источником дохода, и фактором риска, с другой (так как абонент может отказаться от соединения с перенесенным номером). Кроме того, вызывающий абонент может быть не информирован об изменении тарифа, что может вызывать недоразумения.

Опыт западных стран показывает, что реализация права клиента на услугу MNP может оказать сильное влияние на рынок услуг подвижной связи, так как усиливает конкуренцию между его участниками за счет облегчения миграции клиентов, что приводит к созданию дополнительных механизмов снижения цен и облегчает выход на рынок новым операторам.

Внедрение услуги MNP способствует развитию более тесной интеграции мобильных сетей, в том числе путем унифицированного использования инфраструктуры транзитной сети.

Юридические и административные аспекты внедрения услуги MNP включают анализ степени влияния регулирующих органов и государства на решение таких базовых вопросов, как установление административных процедур для процесса переноса номера, определение того, в какой пропорции подлежат распределению расходы, понесенные участвующими в MNP сторонами (оператором сети-донора, сети-реципиента и др.). Кроме того, оказывается влияние на принципы распределения издержек, степень регулирования тарифов на всех этапах переноса, временные рамки и последовательность шагов для осуществления переноса номера, организационные и правовые вопросы создания и эксплуатации базы данных перенесенных номеров.

Административные аспекты включают процедуры переноса между сетью-донором и сетью-реципиентом, которые необходимо рассматривать с точки зрения отношения к действиям администрации связи. Практика показывает, что процесс переноса номера в

рамках услуги MNP должен рассматриваться с точки зрения абонента, т. е. интересы абонента должны превалировать над всеми другими критериями. Администрация связи должна быть уверена в том, что во внимание приняты законные интересы абонента (информированность, простота, длительность блокировки обслуживания, длительность процедуры переноса и пр.)

В административной части наибольшую ответственность берет на себя оператор сети, где реализуется база данных перенесенных номеров. Отказы и сбои в маршрутизации вызовов к перенесенным номерам могут потребовать больших усилий по их анализу, устранению и согласованию возникших из-за этого противоречий с другими операторами.

Технические решения, используемые в разных странах при внедрении услуги MNP, сильно отличаются. Они зависят от числа участников процесса переноса номера, структуры рынка, текущего и ожидаемого спроса на услугу, законодательной среды и ряда других факторов. Прежде всего необходимо выбрать способ реализации, который возможен как на базе платформы интеллектуальной сети, так и на основе других решений. Внедрение услуги предполагает создание в сети новых функций для корректной маршрутизации вызова и обеспечения дополнительных услуг.

Исследования, проведенные в Европейских странах, показали, что в целом экономические последствия оправдывают стоимость внедрения услуги переноса номера. Наиболее значимыми затратными показателями, которые должны быть приняты во внимание, являются затраты на внедрение, административные расходы и дополнительные расходы по обслуживанию вызовов.

Экономическая эффективность внедрения услуги MNP определяется потенциальной клиентской базой. При этом необходимо иметь в виду, что доля клиентов, воспользовавшихся и потенциально готовых к использованию услуги MNP, сильно отличается на рынках разных стран и регионов.

Для оценки спроса нужно оценить размер целевой группы пользователей услуги MNP. К этой группе относятся пользователи, готовые сменить оператора только при условии сохранения своего номера. В основном это бизнес-клиенты, в том числе корпоративные, имеющие длительную историю использования номера и большое число контрагентов. Для таких персон смена номера может привести к потере контактов, либо высоким издержкам на их обновление.

Для этой группы клиентов отсутствие услуги MNP является барьером для смены оператора, даже если они недовольны тарифными планами и условиями обслуживания.

По разным оценкам, численность этой группы пользователей может составлять 10–30% от всех бизнес-клиентов.

Практика показывает, что группа клиентов, готовых перейти к другому оператору, несмотря на изменение номера довольно значительна. Для данной группы наличие или отсутствие MNP, как услуги, безразлично и поэтому они не относятся к целевой группе. В странах и регионах, где процент проникновения мобильной связи не очень высок, спрос далек от насыщения и, соответственно, много вновь появляющихся пользователей, мотивация сохранения номера может существенно отличаться от «телекоммуникационно-развитых» стран.

С момента первого внедрения услуги в Сингапуре в 1997 г., регулируемыми органами и операторами был накоплен существенный опыт реализации задач и достижения целей, связанных с услугой MNP.

Одной из главных ошибок было то, что регулирующие органы оставили выбор технического решения за операторами. Имея свободу действий, операторы естественным образом старались избежать серьезных капитальных затрат, так как эти средства необходимо найти сразу, а компенсировать их придется несколько лет. Как следствие, выбиралось дешевое решение, оптимальное лишь в краткосрочном плане.

Однако, дешевые решения неэффективны, так как заставляют абонентов оплачивать «экономия» операторов, в результате чего стимулы для абонентов по использованию услуги MNP уменьшаются, конкуренция на рынке остается ограниченной и поставленные цели не достигаются.

Наилучший результат достигается при реализации услуги MNP на базе концепции интеллектуальной сети. К тому же установка интеллектуальной платформы необходима операторам, так как в недалеком будущем планируется развертывание систем UMTS. Кроме того, интеллектуальные сети позволяют оказывать множество дополнительных услуг.

Другим выводом из опыта внедрения является необходимость запрета операторам взимать дополнительную плату с абонентов, перенесших свой номер. Оптимальным решением, позволяющим операторам компенсировать свои расходы и стимулировать процесс переноса номеров, усиливающего конкуренцию, является распределение дополнительных платежей среди всех абонентов.

Таким образом, нагрузка на каждого отдельного абонента остается незначительной, а рост цен в связи с дополнительной абонентской платой, компенсируется плавным снижением общей стоимости мобильной связи за счет роста конкуренции. Такое

распределение расходов и доходов получается более справедливым, так как выгоду от снижения цен получают все абоненты.

В течение последних нескольких лет телекоммуникационный рынок является самой динамично развивающейся отраслью экономики. Непрерывное появление новых инновационных технологий расширяет рынок телекоммуникационных услуг и оказывает существенное влияние на формирование новых бизнес-моделей рынка.

Традиционная модель предполагает фиксированный размер рынка и конкуренцию между участниками за его части. Новая модель учитывает тенденции по формированию расширяющегося рынка. С одной стороны, на фоне постепенного снижения доходов от голосовых услуг на телекоммуникационном рынке происходит усиление конкурентной борьбы.

Причем конкуренция характерна для сетей всех видов. Стремясь сохранить конкурентное преимущество, операторы разрабатывают новые дополнительные услуги. С другой стороны, операторы-конкуренты совместными усилиями стремятся увеличить размеры рынка. При этом, с увеличением объема рынка увеличивается и доля каждого из участников.

Одним из наиболее эффективных способов расширения объема рынка услуг связи является создание операторских компаний, использующих модель мобильной виртуальной сети (Mobile Virtual Network Operator – MVNO). Новые участники в новых условиях формируют новую бизнес-модель рынка услуг мобильной связи.

Каждый из участников рынка инфокоммуникационных услуг заинтересован в развитии своей ниши рынка. Сотрудничество базового оператора с MVNO приводит к существенному увеличению его доходов от новых абонентов.

Как правило, предложения операторов виртуальных сетей мобильной связи четко ориентированы на какую-то сегментированную потребительскую нишу, поэтому рост абонентской базы операторов-партнеров происходит не за счет перераспределения структуры рынка, а за счет освоения MVNO новых рыночных ниш.

MVNO может одновременно сотрудничать с несколькими базовыми операторами, в том числе с операторами сетей фиксированной телефонной связи, что позволяет абонентам MVNO получать на один номер услуги как мобильной, так и фиксированной связи. Все это дает новые дополнительные возможности операторским компаниям, использующим модель MVNO, и позволяет им претендовать на определенную часть рынка.

Впервые концепция MVNO была разработана для мобильных сетей британским регулирующим органом в области телекоммуникаций OFTEL. MVNO – это организация,

предлагающая подписку на услуги мобильной связи и сами услуги, но при этом не владеющая необходимым для этого радиочастотным ресурсом.

Заклучив договор хотя бы с одним базовым оператором подвижной связи на использование его сети для радиодоступа к своим абонентам, MVNO предоставляет этим абонентам различные новаторские услуги и тем самым создает новые источники доходов, как для себя, так и для базового оператора.

В европейских странах активное развитие MVNO совпало с началом создания сетей подвижной связи третьего поколения. Появлению и росту таких компаний за рубежом способствовали:

- дефицит частотных ресурсов;
- проблема монополизации рынка услуг мобильной связи;
- рост «мобильного» населения;
- конвергенция услуг мобильных и стационарных сетей.

Сегодня в России также появляются условия для создания MVNO. К этим условиям, прежде всего, относится реальная ситуация, возникшая из-за имеющихся ограничений в обеспечении российских операторов необходимым частотным ресурсом, а также явно выраженные тенденции к монополизации услуг мобильной.

В ряде зарубежных стран, государство законодательным путем определило правовой статус MVNO, как оператора мобильной связи, и тем самым создало условия для развития конкурентной среды на рынке услуг мобильной связи. Компании, действующие сегодня на российском телекоммуникационном рынке, и позиционирующие себя как MVNO, официально не имеют такого правового статуса, хотя и заключают договоры с абонентами от собственного имени и предоставляют услуги под своим брендом. Такие MVNO не производят собственных SIM-карт и не имеют собственного регистра местоположения абонентов (HLR), а зарабатывают на перепродаже услуг базовых операторов сотовых сетей под своей торговой маркой.

Обычно они предлагают нишевые продукты, например, рассчитанные на ограниченный круг потребителей безлимитные тарифы, либо дешевые тарифные планы для самого нижнего сегмента пользователей. Источником их доходов является разница между денежными поступлениями от абонентов и суммой, которую они выплачивают первичному оператору.

Кроме MVNO начального уровня существуют еще два уровня MVNO – средний и высокий.

MVNO среднего уровня – это сервис-провайдеры с расширенными возможностями, которые отличаются от MVNO высокого уровня, только отсутствием центра коммутации и в некоторых случаях отсутствием SIM-карт.

MVNO высокого уровня – полностью оснащенные в технологическом плане и функционально независимые компании со своим биллингом и коммутаторами. Они обладают уникальными серверами дополнительных услуг, службой технической поддержки, предлагают собственные тарифные планы и, возможно, пользуются собственными магистральными каналами для междугородних и международных звонков. Единственное, чего у них нет, – выделенного частотного ресурса и базовых станций. Именно эти составляющие и арендуются у базового оператора.

Модель MVNO открывает новые возможности для всех участников рынка мобильной связи. Благодаря появлению MVNO увеличится число организаций, предлагающих услуги мобильной связи. Абоненты смогут получить более широкий набор услуг по более низким ценам.

Услуги, предоставляемые пользователю, становятся одним из главных аспектов конкурентной борьбы в отрасли, и предоставление широкого спектра новых дополнительных услуг (мультимедийных и других услуг передачи данных) должно открыть большие перспективы.

Оператор MVNO имеет возможность начать работать, не делая больших первоначальных инвестиций в получение лицензий на радиоспектр и в создание дорогостоящей инфраструктуры, а лишь выплачивая арендную плату базовому оператору. Следовательно, эта модель дает возможность понизить входной барьер на телекоммуникационный рынок.

Базовый оператор сети мобильной связи, заключая соглашение с компанией, желающей стать MVNO, использующим его сеть, получит от этого следующие выгоды:

инвестиции в лицензии на предоставление 4G-услуг и в развертывание соответствующей сетевой инфраструктуры окупятся быстрее за счет перепродажи сетевых ресурсов с целью заполнения свободной емкости и создания в результате деятельности MVNO дополнительного трафика;

возможность строительства виртуальной сети за пределами лицензионной зоны, что расширяет зону предоставления услуг;

дополнительные возможности продвижения торговой марки, путем внесения в соглашение с MVNO об уровне предоставляемых услуг пункта об использовании бренда базового оператора;

возможность охвата узких ниш рынков за счет установления партнерства с MVNO, которые обладают творческим подходом к бизнесу и имеют более глубокие и устойчивые взаимоотношения с клиентами, чем базовый оператор. Это может быть особенно актуально для мобильных операторов, чья рыночная доля невелика;

возможность снизить стоимость привлечения абонентов и уменьшить их отток, за счет использования MVNO в качестве одного из каналов розничной дистрибуции. То есть оператор MVNO может стать маркетинговым или розничным подразделением базового оператора, обеспечив более эффективное продвижение мобильных сервисов.

Несмотря на очевидные выгоды от сотрудничества базового оператора и MVNO, все же существует ряд проблем. Прежде всего, появление MVNO может усилить и без того достаточно высокую конкуренцию на рынке.

Базовый оператор сети мобильной связи может потерять контроль над теми сегментами рынка, где сегодня занимает крепкие позиции.

Несмотря на то, что сети базовых операторов мобильной связи часто имеют значительные недогруженные емкости, дополнительный трафик, возникающий в результате работы и роста MVNO, может привести к перегрузке сети в периоды пиковой нагрузки. Поэтому показатели интенсивности и временного распределения этого трафика должны быть тщательно оговорены в договоре, определяющем уровень предоставления услуг связи.

Немало проблем встает и перед оператором MVNO. Прежде всего, качество его услуг, должно превосходить качество услуг других операторов. Решить этот вопрос непросто, так как контроль качества осуществляется, в том числе и оператором сети мобильной связи, в чьем распоряжении находится инфраструктура сети.

Оператор MVNO должен уметь разнообразить предлагаемые услуги с тем, чтобы они отличались от предложений других операторов и привлекали внимание абонентов существующих операторов сетей мобильной связи.

MVNO фактически «владеет» своими абонентами, например, используя свои контракты и свои смарт-карты. Это порождает проблемную ситуацию: базовый оператор должен признать «чужих» абонентов MVNO и обеспечить для них сервис на том же уровне, что и для своих «родных» абонентов.

Выбор схемы расчетов с оператором мобильной связи за доступ к его сетевым ресурсам также проблематичен. Расчеты по схеме «прямое покрытие издержек» подразумевают возмещение затрат базового оператора на предоставление услуг мобильной связи абонентам MVNO, плюс определенный процент этой суммы в качестве вознаграждения независимо от доходов MVNO. Эта схема для MVNO предпочтительнее

при наличии у него собственного регистра местоположения абонентов (HLR) для осуществления тарификации.

Расчеты по схеме «обратное покрытие издержек» предполагают возмещение расходов и выплату вознаграждения базовому оператору из доходов, полученных оператором MVNO от реализации услуг связи. В этом случае базовый оператор оказывает значительное влияние на формирование тарифов для пользователей, что ставит его в более выгодное положение. При любой схеме расчетов доля дохода MVNO должна быть не менее 40% от выручки. В противном случае бизнес виртуального оператора становится неэффективным.

Сети на базе виртуальных соединений

В историческом развитии сетей и услуг связи можно выделить четыре основных этапа рис.4.83. Каждый этап имеет свою логику развития, взаимосвязь с предыдущими и последующими этапами. Кроме того, каждый этап зависит от уровня развития экономики и национальных особенностей отдельного государства.

Интеллектуальная сеть, в соответствии с рекомендациями Международного Союза Электросвязи, может создавать новые службы и приложения быстро, эффективно, гибко и экономно, не требуя изменения структуры существующей сети. Благодаря этому происходит отделение управления услугами (централизация) от услуг коммутации, сигнализации и доставки информации, использующих стандартизированные структуры и протоколы. Интеллектуальная надстройка ответственна за создание новых услуг и поддержку существующих интеллектуальных услуг.

Благодаря этому ускоряется создание новых служб и услуг. При использовании стандартных интерфейсов продукты различных изготовителей могут взаимодействовать гибко и конкурировать на равноправной основе. Трехуровневая архитектура интеллектуальной сети приведена на рис.4.84.

Концепция и архитектура интеллектуальной сети (IN)

Архитектура интеллектуальной сети приведена на рис.4.85. Обмен между объектами ИС – пунктом коммутации услуги (ПКУ – Service Switching Point, SSP) и интерпретатором услуг (ИВУ – Service Control Point, SCP) реализуется подсистемой поддержки пользователя интеллектуальной сети (ПП ИС – Intelligent Network Application Part, INAP) в реальном масштабе времени.

Пункт коммутации услуг (SSP) обеспечивает доступ абонентов сети связи общего пользования к услугам IN и поддерживает протоколы взаимодействия с другими

элементами IN. В этом пункте происходит фиксация того, что принятый вызов от абонента требует обращения к услугам IN и направление соответствующего запроса к узлу интерпретации услуг (SCP). После оснащения коммутационного оборудования узла сети функциями SSP услуги IN могут вводиться и удаляться путем соответствующих изменений конфигурации SSP, производимых техническим персоналом через обычный интерфейс оператора. Никаких изменений системного прикладного программного обеспечения (версии ПО) узла сети при этом не требуется.

Пункт интерпретации услуг (SCP) содержит программы, централизованно реализующие логику услуг, программные средства, поддерживающие протоколы взаимодействия с другими элементами сети, системное программное обеспечение, а также базу данных реального времени.

Интеллектуальная периферия (IN Peripherals, IP) выполняет вспомогательные функции, поддерживающие диалог с абонентом, такие как передача приглашения к набору дополнительных цифр номера, прием цифр, передаваемых абонентом многочастотным способом (DTMF), распознавание речи и некоторые другие. Интеллектуальная периферия может либо быть встроена в SSP, либо реализована в обособленном оборудовании. Интеллектуальная периферия управляется со стороны SCP по протоколу INAP.

Для подключения IP к SSP используются соединительные линии с сигнализацией, поддерживаемой подсистемой ISUP системы сигнализации ОКС № 7, или линии первичного доступа ISDN с цифровой абонентской сигнализацией DSS1.

Система эксплуатационного управления и среда создания услуг SMP/SCEP (Service management point/Service creation environment point) предоставляют оператору сети возможности контроля и управления параметрами и конфигурацией услуг IN. Среда создания услуг содержит средства конструирования, модификации и тестирования услуг до начала коммерческой эксплуатации и средства загрузки соответствующих программ в SMP. Пункт управления услугами (SMP) обеспечивает эксплуатационное управление действующими услугами, а также управление подготовкой новых услуг и их вводом в эксплуатацию.

Взаимодействие между SMP SCEP и SCP обеспечивается с помощью протоколов TCP/IP.

Для каждого этапа ITU-T определяет те услуги, которые можно реализовать на базе имеющейся технологии. Перечни услуг (и их составных элементов), определяемые для разных этапов, получили название наборов возможностей (Capability Sets, CS). Для каждого такого набора предусмотрен отдельный пакет рекомендаций ITU-T, причем все

возможности, определенные для предыдущего набора, обязательно входят в следующий набор.

Верхняя плоскость модели (*плоскость услуг*) представляет услуги так, как они “видны” конечному пользователю. Такое представление не содержит информации, относящейся к способу и деталям реализации услуги в телекоммуникационной сети. То, что услуга реализована в рамках IN, при представлении ее на плоскости услуг невидимо. На этой плоскости *услуги (services)* komponуются из одной или из нескольких разных стандартизованных составляющих (модулей), каждую из которых пользователь воспринимает как одно из характерных свойств. Для каждого этапа стандартизации определяются совокупность таких составляющих и правила их использования.

Архитектура протоколов интеллектуальной сети базируется на объектно-ориентированном подходе к распределенной обработке информации и новейших технологиях предоставления услуг связи. Для организации обработки информации при предоставлении интеллектуальных услуг каждый программный компонент (ПК) строится по принципам объектно-ориентированного программирования. В программном компоненте содержится четыре составляющих рис. 4.86 :

- ядро (Core), описывающее объект обработки (вычислений) безотносительно к применению и управлению;
- применение (Use), определяющее интерфейс с пользователем;
- управление (Management);
- указатель связей (Pointer Relationship), определяющий зависимости данного компонента от других.

Такой компонент называют моделью универсального компонента услуги (Universal Service Component Model, USCM). Если программа предоставления интеллектуальной услуги сложна, то она может включать другие компоненты, каждый из которых имеет модель USCM рис. 4.87. Услуга ИС описывается в таких понятиях как:

- пользователь,
- абонент,
- поставщик услуг доставки информации,
- поставщик интеллектуальной услуги,
- создатель сети доставки информации,
- создатель услуги (программист),
- менеджер сети/услуги.

Для уменьшения затрат на разработку новых интеллектуальных услуг создается библиотека компонентов: агентов пользователей, агентов терминалов, менеджеров сессий услуги и транспортного соединения.

Каждая телекоммуникационная услуга в соответствии с моделью USCM определяется ядром компонента. Ядро отвечает на вопрос “Что делать?”. Ядро определяет:

1. Контекст (смысловой ряд действий), в котором оно участвует при реализации данной услуги;

2. Множество операций и атрибутов услуги.

Смысловая последовательность действий, определяемая ядром, называется “сессией”. При реализации услуги может участвовать несколько менеджеров, каждый из которых ответствен за определенную сессию, например:

- предоставления услуги;
- пользователя относительно всех сессий услуги;
- связи между участниками сеанса.

Управление в ИС реализуется тремя уровнями:

- управления услугой;
- управления интеллектуальной сетью;
- управления вычислениями.

Особенности и преимущества VPN

В основе концепции частных виртуальных сетей (Virtual Private Network, VPN) и сетей Extranet может лежать применение Internet.

Internet можно использовать при взаимодействии локальных сетей предприятий, но проблемы защиты, доступности и надежности такой сети заставляют многие организации отказаться от этой идеи.

Обычная частная сеть - это такая сеть, где каждый из удаленных пунктов связан с другими с помощью *выделенных* или *арендуемых линий*.

На рис.4.88 показана простая сеть подобного типа, состоящая из сети одного центрального офиса и сетей двух дочерних офисов. Основные затраты на содержание частной сети - это ежемесячная плата за арендуемые или выделенные линии.

Если в подобной сети вместо арендуемых линий использовать обмен через Internet, то мы получим сетевую топологию, аналогичную представленной на рис. 4.89. Здесь каждый удаленный пункт имеет собственный доступ к Internet, обычно предоставляемый местным провайдером.

Брандмауэр (Firewall, FW) – это программно-аппаратный комплекс, создающий защитный барьер (межсетевой экран) между сетями. Он предназначен для предотвращения *несанкционированного доступа к защищаемой сети извне и для контроля потоков входящих и исходящих данных*. Брандмауэр устанавливается на границе защищаемой сети, но его присутствие не должно быть заметно для сетевых узлов.

Сеть каждого дочернего отделения имеет собственное соединение с Internet (через шлюз местного провайдера).

Пользователи этих дочерних отделений могут с помощью такого соединения получить доступ к любому узлу Internet. Важные ресурсы корпоративной сети защищаются от доступа извне с помощью *брандмауэров*, обеспечивающих охрану каждого соединения с Internet.

Информационный обмен пользователей частной сети через Internet ставит вопросы *защиты и качества услуг*. Что касается безопасности, то каждый удаленный пункт, имеющий доступ к Internet, обычно защищен с помощью *брандмауэра*. Брандмауэр, как правило, настраивается таким образом, чтобы пользователи локальной сети могли свободно обращаться к узлам Internet, но сторонний пользователь не мог бы получить доступ извне к серверам или другим ресурсам корпоративной сети.

Подобная схема предохраняет каждый удаленный офис от несанкционированного доступа извне, но никак *не защищает информационные потоки*, передаваемые между этими пунктами. Потоки информации проходят через Internet без шифрования. Кроме проблем защиты, немаловажное значение для пользователей VPN имеет также *надежность соединения с Internet* каждого удаленного офиса и *скорость передачи данных*.

Многие проблемы *защиты информационных потоков* опираются на брандмауэры с дополнительными функциями поддержки VPN, расширения которых для виртуальных частных сетей позволяют установить через Internet *шифрованное соединение* с другим брандмауэром. *Шифрование* обеспечивает гарантию того, что даже если некто, вооружившись анализатором протоколов, перехватит сообщение из магистральной сети, то он не сможет прочесть данные.

Как показано на рис.4.90 брандмауэры с поддержкой VPN создают логические каналы - "*коридоры*" в Internet. Коридоры не позволяют никому извне "проникнуть внутрь".

Брандмауэры со средствами VPN создают зашифрованные соединения, связывающие каждый пункт с другими. Концептуально это напоминает стены, окружающие каждый филиал, и коридоры, соединяющие штаб-квартиру с дочерними

отделениями в единое целое. Брандмауэры со средствами VPN дают пользователям возможность получить *защищенный доступ к сетям других филиалов*.

Такой подход основывается на допущении, что если пользователь *подтвердил свои полномочия в одном из филиалов*, то ему можно (или следует) предоставить доступ к сетям других филиалов компании. Между тем, корпоративная политика защиты не всегда разрешает доступ к любой части сети всем сотрудникам организации. Более того, сегодня компании все чаще предоставляют доступ к своей сети партнерам по бизнесу, но при этом они обычно ограничивают сферу их доступа.

Расходы на VPN обычно складываются из оплаты стоимости линий связи между компанией и точкой доступа к Internet и оплаты услуг провайдера Internet. Вместо оплаты определенной пропускной способности (независимо от того, нужна она вам постоянно или нет), Internet позволяет по мере надобности создавать между точками сети защищенные виртуальные туннели.

Частная виртуальная сеть создается между инициатором туннеля и завершителем (терминатором) туннеля (рис. 4.91).

Инициатор туннеля (ИТ) инкапсулирует пакеты, например, IP-пакеты, в новый пакет, содержащий, наряду с исходными данными, новый заголовок с информацией об отправителе и получателе. *Терминатор туннеля* (ТТ) выполняет процесс, обратный инкапсуляции, удаляя новые заголовки и направляя исходный пакет в сеть IP или адресату в локальной сети.

Сама по себе инкапсуляция никоим образом не повышает конфиденциальности или целостности туннелируемых данных. Конфиденциальность обеспечивается с помощью шифрования.

Поскольку существует множество методов шифрования данных, очень важно, чтобы инициатор и терминатор туннеля использовали один и тот же метод. Кроме того, для успешной дешифрации данных источник и получатель должны иметь возможность обмена *ключами шифрования*. Чтобы туннели создавались только между уполномоченными пользователями, конечные точки требуется *идентифицировать*.

Целостность туннелируемых данных можно обеспечить с помощью некоей формы выборки сообщения или *хэш-функции* для выявления искажений или потерь. Хэширование (Hashing) – метод отображения открытого (незашифрованного) сообщения в зашифрованную строку фиксированной длины. В криптографии такая функция служит для *обнаружения модификации* (искажения, подмены) зашифрованных сообщений.

Технически реализация VPN стала возможной уже достаточно давно. Инкапсуляция используется для передачи кадров локальных сетей, в которых доставка

обеспечивается без маршрутизации, через сети с маршрутизаторами пакетов, а также для доставки мультимедийной информации с помощью одного протокола.

Для реализации унифицированного способа инкапсуляции пакетов третьего и более высоких уровней разработан *протокол туннелирования второго уровня (Layer-2 Tunneling Protocol, L2TP)*. Спецификация L2TP не описывает методы идентификации и шифрования. Представляя собой расширение протокола PPP (Point-to-Point Protocol) уровня звена данных, L2TP может поддерживать любые высокоуровневые протоколы (не только IP). Туннели на основе PPP требуют, чтобы конечные точки поддерживали информацию о состоянии каждого канала (такую, как тайм-ауты), и, следовательно, не обладают хорошей масштабируемостью при необходимости организации нескольких туннелей с общими конечными точками.

Для взаимодействия локальных сетей используются и *технологии маршрутизации третьего уровня*. Спецификацией, где описаны стандартные методы для всех компонентов VPN, является протокол Internet Protocol Security, или IPsec (иногда его называют протоколом туннелирования третьего уровня (Layer-3 Tunneling)).

Набор услуг, предоставляемых VPN

Протокол IPsec предусматривает:

- стандартные методы идентификации пользователей или компьютеров при создании туннеля;
- стандартные способы шифрования, используемые конечными точками туннеля;
- стандартные методы обмена и управления *ключами шифрования* между конечными точками. Этот гибкий стандарт предлагает несколько способов для выполнения каждой задачи.

Протокол IPsec может работать совместно с L2TP, в результате эти два протокола обеспечивают более надежную идентификацию, стандартизованное шифрование и целостность данных. Спецификация IPsec ориентирована на IP и, таким образом, бесполезна для трафика любых других протоколов сетевого уровня.

Туннель IPsec между двумя локальными сетями может поддерживать *множество индивидуальных каналов передачи данных*, в результате чего приложения данного типа получают преимущества с точки зрения масштабирования по сравнению с технологией второго уровня.

Шифрование информации, передаваемой между инициатором и терминатором туннеля, часто осуществляется с помощью протокола защиты транспортного уровня (Transport Layer Security, TLS). Существует довольно тонкая взаимосвязь между

брандмауэрами (firewall) и VPN. Если туннели завершаются на оборудовании провайдера Internet, то потоки информации будут передаваться по локальной сети или по линии связи с провайдером Internet в незащищенном виде.

Если же конечная точка туннеля находится на территории локальной сети, но расположена за брандмауэром, то туннелируемые потоки можно контролировать с помощью средств контроля доступа брандмауэра, но никакой дополнительной защиты при передаче по локальной сети это не даст. Более того, конечную точку будет связывать с брандмауэром канал с незашифрованной информацией.

Расположение конечной точки *внутри защищаемой брандмауэром зоны* обычно означает открытие прохода через брандмауэр (как правило, через конкретный порт TCP).

Некоторые компании предпочитают применять реализуемый брандмауэром *контроль доступа ко всему трафику*, в том числе и к туннелируемому, особенно если другую сторону туннеля представляет партнер, заказчик или поставщик, стратегия защиты которого неизвестна или не внушает доверия.

Одно из преимуществ *тесно интегрированных с брандмауэром продуктов туннелирования* состоит в том, что можно:

- открывать туннель;
- применять к туннелю правила защиты брандмауэра;
- перенаправлять потоки данных до конечной точки на конкретном компьютере или до защищаемой брандмауэром подсети.

VPN реализуется с помощью специального программного обеспечения. Программное обеспечение для VPN может функционировать на самых разных аппаратных платформах. Маршрутизаторы или коммутаторы могут поддерживать функции VPN по умолчанию (или в качестве дополнительной возможности, предлагаемой за отдельную плату).

Аппаратно и программно реализуемые брандмауэры нередко предусматривают модули VPN со средствами управления трафиком или без таковых. Некоторые пограничные комбинированные устройства включают в себя маршрутизатор, брандмауэр, средства управления пропускной способностью и функции VPN (а также режим конфигурации).

Виртуальная частная сеть немыслима без идентификации. Вероятно, инфраструктура с открытыми ключами (Public Key Infrastructure, PKI) для электронной идентификации и управления открытыми ключами будет приобретать все большую значимость. Данные о PKI лучше всего хранить в глобальном каталоге, обращаться к

которому можно по упрощенному протоколу доступа к каталогу (Lightweight Directory Access Protocol, LDAP).

Телекоммуникационная отрасль постепенно переходит к *хранению информации идентификации и PKI в центральном каталоге* или каталоге, способном полностью взаимодействовать с другими каталогами и приложениями, не только данных, имеющих отношение к политике защиты, но и информации о приоритетах (для управления производительностью), а также о выделении вычислительных ресурсов.

Шифрование требует значительных вычислительных ресурсов. Например, обычные серверы класса Pentium имеют достаточную производительность шифрования для канала на 10 Мбит/с, но не 100 Мбит/с. Для обеспечения высокой скорости шифрования некоторые изготовители предлагают специальные аппаратные дополнения к платформе общего назначения.

Сети Интернет

В 1990 г. Европейская организация по ядерным исследованиям (European Organization for Nuclear Research) организовала крупнейший Интернет-сайт в Европе и обеспечила доступ в Интернет Старого света. С целью оказания помощи в продвижении и содействия концепции распределенных вычислений через Интернет CERN (Швейцария, Женева) Тим Бернерс-Ли (Tim Berners-Lee) разработал технологию гипертекстовых документов – World Wide Web (WWW), позволяющую пользователям иметь доступ к любой информации, находящейся в сети Интернет на компьютерах по всему миру.

В основе технологии WWW лежат: определение спецификаций URL (Universal Resource Locator, всеобщий указатель ресурса), HTTP (HyperText Transfer Protocol, протокол передачи гипертекста) и собственно язык HTML (HyperText Markup Language, язык разметки гипертекста). Текст можно разметить в HTML с помощью любого текстового редактора. Страницу, размеченную в HTML, часто называют Web-страницей. Для просмотра Web-страницы используется клиентское приложение – Web-браузер.

В 1994 г. образовался консорциум W3C (W3 Consortium), который объединил ученых из разных университетов и компаний (в том числе Netscape и Microsoft). С этого времени комитет стал заниматься всеми стандартами в мире Интернета. Первым шагом организации стала разработка спецификации HTML 2.0. В данной версии появилась возможность передачи информации с компьютера пользователя на сервер с помощью форм. Следующим шагом стал проект HTML 3, работа над которым началась в 1995 г. Впервые была введена система CSS (Cascading Style Sheets, иерархические таблицы стилей). CSS позволяет осуществить форматирование текста без нарушения логической и

структурной разметки. Стандарт HTML 3 так и не был утвержден, вместо него был создан и принят в январе 1997 г. HTML 3.2. Уже в декабре 1997 г. W3C принимает стандарт HTML 4.0, в котором идет разделение на логические и визуальные теги.

К 1995 году темпы роста сети Интернет показали, что регулирование вопросов подключения и финансирования не может находиться в руках одного NSF. В 1995 году произошла передача региональным сетям оплаты за подсоединение многочисленных частных сетей к национальной магистрали.

Интернет вырос далеко за пределы того, каким его видели и проектировали, он перерос те агентства и организации, которые его создавали, они более не могли играть в его росте доминирующую роль. Сегодня это мощная всемирная сеть связи, основанная на распределенных коммутационных элементах - хабах и каналах связи. С 1983 года Интернет растет по экспоненте, и едва ли ни одна деталь сохранилась с тех времен, – Интернет все еще работает на основе набора протоколов TCP/IP.

Если термин «Интернет» первоначально использовался для описания сети, построенной на базе Интернет – протокола IP, то сейчас это слово приобрело глобальный смысл и лишь иногда применяется в качестве названия набора объединенных сетей. Строго говоря – Интернет, это любой набор отдельных в физическом смысле сетей, которые соединены между собой единым протоколом IP, что позволяет говорить о них, как об одной логической сети. Бурный рост Интернет, вызвал повышенный интерес к протоколам TCP/IP, в итоге появились специалисты и компании, которые нашли для него и ряд других приложений. Этот протокол начал использоваться для построения локальных вычислительных сетей (LAN - Local Area Network) даже тогда, когда не предусматривалось их подключение к сети Интернет. Кроме того, TCP/IP стал применяться при создании корпоративных сетей, которые взяли на вооружение Интернет – технологии, в том числе WWW (World Wide Web) – мировую паутину, чтобы наладить эффективный обмен внутрикорпоративной информацией. Эти корпоративные сети получили название «Интранет» и могут либо подключаться, либо нет к сети Интернет.

Изобретателем всемирной паутины считается Тим Бернерс-Ли, являющийся автором технологий HTTP, URI/URL и HTML. В 1980 году он для собственных нужд написал программу «Энквайр» («Дознаватель»), которая использовала случайные ассоциации для хранения данных и заложила концептуальную основу для Всемирной паутины. В 1989 году Тим Бернерс-Ли предложил глобальный гипертекстовый проект, теперь известный как Всемирная паутина. Проект подразумевал публикацию гипертекстовых документов, связанных между собой гиперссылками, что облегчило бы поиск и консолидацию информации для учёных. Для осуществления проекта им были

изобретены идентификаторы URI, протокол HTTP и язык HTML. Это технологии, без которых уже нельзя себе представить современный Интернет. В период с 1991 по 1993 год Бернерс-Ли усовершенствовал технические спецификации этих стандартов и опубликовал их. Им был написан первый в мире веб-сервер «httpd» и первый в мире гипертекстовый веб-браузер, называвшийся «WorldWideWeb». Этот браузер был одновременно и WYSIWYG-редактором (сокр. от англ. What You See Is What You Get – что видишь, то и получишь), его разработка была начата в октябре 1990 года, а закончена в декабре того же года. Программа работала в среде «NeXTStep» и начала распространяться по Интернету летом 1991 года. Первый в мире Web – сайт Бернерс-Ли создал по адресу <http://info.cern.ch/>, теперь сайт хранится в архиве. Этот сайт появился он-лайн в Интернете 6 августа 1991 года. На этом сайте описывалось, что такое Всемирная паутина, как установить Web –сервер, как использовать браузер и т. п. Этот сайт также являлся первым в мире интернет-каталогом, потому что позже Тим Бернерс-Ли разместил и поддерживал там список ссылок на другие сайты.

С 1994 года основную работу по развитию Всемирной паутины взял на себя Консорциум Всемирной паутины (англ. World Wide Web Consortium, W3C), основанный Тимом Бернерсом-Ли. Данный Консорциум – организация, разрабатывающая и внедряющая технологические стандарты для Интернета и Всемирной паутины. Миссия W3C: «Полностью раскрыть потенциал Всемирной паутины, путём создания протоколов и принципов, гарантирующих долгосрочное развитие Сети». Две другие важнейшие задачи Консорциума – обеспечить полную «интернационализацию Сети» и сделать Сеть доступной для людей с ограниченными возможностями.

W3C разрабатывает для Интернета единые принципы и стандарты (называемые «Рекомендациями», англ. W3C Recommendations), которые затем внедряются производителями программ и оборудования. Таким образом достигается совместимость между программными продуктами и аппаратурой различных компаний, что делает Всемирную сеть более совершенной, универсальной и удобной. Все Рекомендации Консорциума Всемирной паутины открыты, то есть не защищены патентами и могут внедряться любым человеком без всяких финансовых отчислений консорциуму.

В настоящее время всемирную паутину образуют миллионы Web – серверов сети Интернет, расположенных по всему миру. Web –сервер является программой, запускаемой на подключённом к сети компьютере и использующей протокол HTTP для передачи данных. В простейшем виде такая программа получает по сети HTTP-запрос на определённый ресурс, находит соответствующий файл на локальном жёстком диске и отправляет его по сети запросившему компьютеру. Более сложные Web–серверы

способны динамически распределять ресурсы в ответ на HTTP-запрос. Для идентификации ресурсов (зачастую файлов или их частей) во Всемирной паутине используются единообразные идентификаторы ресурсов URI (англ. Uniform Resource Identifier). Для определения местонахождения ресурсов в сети используются единообразные локаторы ресурсов URL (англ. Uniform Resource Locator). Такие URL-локаторы сочетают в себе технологию идентификации URI и систему доменных имён DNS (англ. Domain Name System) – доменное имя (или непосредственно IP-адрес в числовой записи) входит в состав URL для обозначения компьютера (точнее – одного из его сетевых интерфейсов), который исполняет код нужного Web – сервера.

Для просмотра информации, полученной от Web – сервера, на клиентском компьютере применяется специальная программа – Web –браузер. Основная функция Web – браузера – отображение гипертекста. Всемирная паутина неразрывно связана с понятиями гипертекста и гиперссылки. Большая часть информации в Вебе представляет из себя именно гипертекст. Для облегчения создания, хранения и отображения гипертекста во Всемирной паутине традиционно используется язык HTML (англ. HyperText Markup Language), язык разметки гипертекста. Работа по разметке гипертекста называется вёрсткой, мастера по разметке называют веб-мастером. После HTML-разметки получившийся гипертекст помещается в файл, такой HTML-файл является самым распространённым ресурсом Всемирной паутины. После того, как HTML-файл становится доступен веб-серверу, его начинают называть «веб-страницей». Набор веб-страниц образует веб-сайт. В гипертекст веб-страниц добавляются гиперссылки. Гиперссылки помогают пользователям Всемирной паутины легко перемещаться между ресурсами (файлами) вне зависимости от того, находятся ресурсы на локальном компьютере или на удалённом сервере. Гиперссылки «веба» основаны на технологии URL.

В целом можно заключить, что Всемирная паутина стоит на «трёх китах»: HTTP, HTML и URL. Хотя в последнее время HTML начал несколько сдавать свои позиции и уступать их более современным технологиям разметки: XHTML и XML. XML (англ. eXtensible Markup Language) позиционируется как фундамент для других языков разметки. Для улучшения визуального восприятия веба стала широко применяться технология CSS, которая позволяет задавать единые стили оформления для множества веб-страниц. Ещё одно нововведение, на которое стоит обратить внимание, – система обозначения ресурсов URN (англ. Uniform Resource Name).

Популярная концепция развития Всемирной паутины – создание семантической паутины. Семантическая паутина – это надстройка над существующей Всемирной паутиной, которая призвана сделать размещённую в сети информацию более понятной

для компьютеров. Семантическая паутина – это концепция сети, в которой каждый ресурс на человеческом языке был бы снабжён описанием, понятным компьютеру. Семантическая паутина открывает доступ к чётко структурированной информации для любых приложений, независимо от платформы и независимо от языков программирования. Программы смогут сами находить нужные ресурсы, обрабатывать информацию, классифицировать данные, выявлять логические связи, делать выводы и даже принимать решения на основе этих выводов. При широком распространении и грамотном внедрении семантическая паутина может вызвать революцию в Интернете. Для создания понятного компьютеру описания ресурса в семантической паутине используется формат RDF (англ. Resource Description Framework), который основан на синтаксисе XML и использует идентификаторы URI для обозначения ресурсов. Новинки в этой области – это RDFS (англ. RDF Schema) и SPARQL (англ. Protocol And RDF Query Language) (произносится как «спáркл»), новый язык запросов для быстрого доступа к данным RDF.

В настоящее время наметились две тенденции в развитии Всемирной паутины: семантическая паутина и социальная паутина. Семантическая паутина предполагает улучшение связности и релевантности информации во Всемирной паутине через введение новых форматов метаданных. Социальная паутина полагается на работу по упорядочиванию имеющейся в Паутине информации, выполняемую самими пользователями Паутины. В рамках второго направления наработки, являющиеся частью семантической паутины, активно используются в качестве инструментов (RSS и другие форматы веб-каналов, OPML, микроформаты XHTML).

Одним из самых современных и экономичных видов связи стала Интернет-телефония. Днем ее рождения можно считать 15 февраля 1995 года, когда фирма VocalTec выпустила свой первый soft-phone – программу, служащую для обмена голосом по сети IP. Затем Microsoft выпустил в октябре 1996 года первую версию NetMeeting. А уже в 1997 году стали вполне обычными соединения через Интернет двух обычных телефонных абонентов, находящихся в совершенно разных местах планеты.

Почему обычная междугородная и международная телефонная связь так дорога? Объясняется это тем, что во время разговора абонент занимает целый канал связи, причем не только когда говорит или слушает собеседника, но и когда молчит или отвлекается от разговора. Так происходит при передаче голоса по телефону обычным аналоговым способом.

При цифровом же способе информацию можно передавать не непрерывно, а отдельными «пакетами». Тогда по одному каналу связи можно посылать информацию одновременно от многих абонентов. Этот принцип пакетной передачи информации

подобен перевозке множества писем с разными адресами в одном почтовом вагоне. Ведь не «гоняют» же один почтовый вагон для перевозки каждого письма в отдельности! Такое временное «пакетное уплотнение» позволяет намного эффективнее использовать существующие каналы связи, «сжимать» их. На одном конце канала связи информация делится на пакеты, каждый из которых, подобно письму, снабжается своим индивидуальным адресом. По каналу связи пакеты многих абонентов передаются «впережку». На другом конце канала связи пакеты с одним адресом снова объединяются и направляются своему адресату. Такой пакетный принцип широко используется в сети Интернет.

Имея персональный компьютер, звуковую карту, совместимые с ней микрофон и наушники (или звуковые колонки), абонент может с помощью Интернет-телефонии позвонить любому абоненту, у которого имеется обычный городской телефон. При этом разговоре он также будет платить только за пользование Интернетом. Перед началом пользования Интернет-телефонией абоненту – владельцу персонального компьютера необходимо установить на него специальную программу.

Для пользования услугами Интернет-телефонии не обязательно иметь персональный компьютер. Для этого достаточно иметь обычный телефон с тональным набором. В этом случае каждая набранная цифра уходит в линию не в виде разного количества электрических импульсов, как при вращении диска, а в виде переменных токов разной частоты. Такой тоновый режим есть в большинстве современных телефонных аппаратов. Для пользования Интернет-телефонией с помощью телефонного аппарата нужно купить кредитную карточку, и позвонить на мощный центральный компьютер-сервер по указанному на карточке номеру. Затем автомат сервера голосом (по выбору на русском или английском языке) сообщает команды: набрать с помощью кнопок телефонного аппарата серийный номер и ключ карточки, набрать код страны и номер своего будущего собеседника. Далее сервер превращает аналоговый сигнал в цифровой, отправляет его в другой город, в находящийся там сервер, который снова преобразует цифровой сигнал в аналоговый и отправляет его нужному абоненту. Собеседники разговаривают как по обычному телефону, правда, иногда чувствуется небольшая (на доли секунды) задержка ответа. Напомним, что для экономии каналов связи голосовая информация передается «пакетами» цифровых данных: ваша голосовая информация расчленяется на отрезки, пакеты, называемые Интернет-протоколами (IP).

В 2003 году была создана программа Skype (www.skype.com), совершенно бесплатная и не требующая от пользователя практически никаких знаний ни для ее установки, ни для использования. Она позволяет разговаривать в режиме

видеосопровождения с собеседниками, находящимися у своих компьютеров в разных концах света. Для того чтобы собеседники могли видеть друг друга, компьютер каждого из них должен быть снабжен web-камерой.

Конвергенция сетей и услуг

Конвергенция сетей, обусловленная необходимостью одновременной передачи разными категориями пользователей голосовой и видеоинформации в реальном времени, данных, породила две глобальные технические проблемы:

- необходимость поддержки большого разнообразия систем сигнализации, используемых в каждой из объединяемых сетей, базирующихся на технологиях TDM, ATM, IP, MPLS и др.;
- "конвергенция услуг связи" (наряду с "конвергенцией сетей") - ввод новых инфокоммуникационных услуг с универсальным доступом из ССОП, ISDN, интеллектуальной сети (IN), сети IP.

Решение этих задач возлагается на аппаратно-программные средства нового типа: так называемые "программные коммутаторы (Softswitch)" и медиашлюзы (MGW).

Программные коммутаторы (Softswitch) специально создавались для обоих типов сетей (ТфОП и IP), в каждой из них это оборудование воспринимается по-разному:

Для работы в ТфОП Softswitch должен выполнять функции пункта сигнализации ОКС № 7 и иметь интерфейсы для поддержки других систем сигнализации ТфОП/ISDN: EDSS1, 2ВСК, R2 и др.

В сети с коммутацией пакетов Softswitch выступает в качестве единого устройства управления медиашлюзами (Media Gateway Controller, MGC) и/или контроллера сигнализации (Signaling Controller), диспетчера H.323 (системы видеоконференцсвязи) и сервера SIP (Session Initial Protocol).

Под термином *интеграция* понимают объединение:

- служб (услуг);
- методов коммутации;
- аппаратных или программных средств в единую систему;
- элементной базы средств коммутации и доставки информации.

Конвергенция – это процесс постепенного сближения различных по своему назначению технологий и служб связи с целью унификации оборудования и расширения функциональных возможностей.

Мультисервисность – это поддержка множества служб (service) программно-аппаратными средствами одной сети.

Мультипротокольность – это возможность доставки информации независимо от того, с помощью каких протоколов созданы протокольные блоки данных.

К инфокоммуникационным услугам предъявляются следующие требования:

- *мобильность*;
- *возможность гибкого и быстрого создания новых услуг*;
- *гарантированное качество*.

Большое влияние на требования к инфокоммуникационным услугам оказывает процесс конвергенции, приводящий к тому, что инфокоммуникационные услуги становятся доступными пользователям вне зависимости от способов доступа.

Принимая во внимание рассмотренные особенности инфокоммуникационных услуг, могут быть определены следующие требования к перспективным сетям связи:

- *“мультисервисность”*, термин выражает свойство независимости технологий предоставления услуг от транспортных технологий;
- *“широкополосность”*, термин выражает возможность гибкого и динамического изменения скорости передачи информации в широком диапазоне в зависимости от текущих потребностей пользователя;
- *“мультимедийность”*, термин выражает способность сети передавать многокомпонентную информацию (речь, данные, видео, аудио) с необходимой *синхронизацией этих компонент в реальном времени* и использованием сложных конфигураций соединений;
- *“интеллектуальность”*, термин выражает возможность управления услугой, вызовом и соединением со стороны пользователя или поставщика услуг;
- *“инвариантность доступа”*, термин выражает возможность организации доступа к услугам независимо от используемой технологии;
- *“многооператорность”*, термин выражает возможность участия нескольких операторов в процессе предоставления услуги и разделение их ответственности в соответствии с их областью деятельности.

Кроме того, при формировании требований к перспективным мультисервисным сетям необходимо учитывать особенности деятельности поставщиков услуг. В частности, современные подходы к регламентации услуг присоединения предусматривают доступ поставщиков услуг, в том числе и не обладающих собственной инфраструктурой, к ресурсам сети общего пользования *без дискриминации*. При этом к основным требованиям, предъявляемым поставщиками услуг к сетевому окружению, относятся:

- обеспечение возможности работы оборудования в “мультиоператорской” среде, то есть увеличение числа интерфейсов для подключения к сетям сразу нескольких операторов связи, в том числе на уровне доступа;
- обеспечение взаимодействия узлов поставщиков услуг для их совместного предоставления;
- возможность применения “масштабируемых” технических решений при приемлемой стартовой стоимости оборудования.

Существующие сети связи общего пользования (ССОП) с коммутацией каналов и коммутацией пакетов в настоящее время не отвечают перечисленным выше требованиям. Ограниченные возможности традиционных сетей являются сдерживающим фактором на пути внедрения новых инфокоммуникационных услуг. С другой стороны, наращивание объёмов предоставляемых инфокоммуникационных услуг может негативно сказаться на показателях качества обслуживания вызовов базовых служб существующих сетей связи.

Все это вынуждает учитывать наличие инфокоммуникационных услуг при планировании способов развития традиционных сетей связи в направлении создания мультисервисных сетей.

Концепция сетей следующего поколения (NGN)

Общие подходы к построению мультисервисных сетей связи нашли отражение в концепции перспективных сетей связи следующего поколения – NGN.

Базовым принципом концепции NGN является *отделение друг от друга*:

- *функций переноса и коммутации,*
- *функций управления вызовом и управления услугами.*

Функциональная модель NGN, в общем случае, может быть представлена тремя уровнями:

- *транспортным;*
- *управления коммутацией и передачей информации;*
- *управления услугами.*

Задачей транспортного уровня является коммутация и прозрачная передача информации пользователя.

Задачей уровня управления коммутацией и передачей информации является обработка информации сигнализации, маршрутизация вызовов и управление потоками.

Уровень управления услугами содержит функции управления логикой услуг и приложений и представляет собой распределенную вычислительную среду, обеспечивающую:

- предоставление инфокоммуникационных услуг;
- управление услугами;
- создание и внедрение новых услуг;
- взаимодействие различных услуг.

Уровень управления услугами позволяет реализовать специфику услуг и применять одну и ту же программу логики услуги вне зависимости от типа транспортной сети (IP, ATM, FR) и способа доступа. Наличие этого уровня позволяет также вводить на сети любые новые услуги без вмешательства в функционирование других уровней.

Уровень управления услугами может включать множество независимых подсистем ("сетей услуг"), базирующихся на различных технологиях, имеющих своих абонентов и использующих свои, внутренние системы адресации.

Архитектура сети связи, построенной в соответствии с концепцией NGN, представлена на рис.4.92. Основу NGN составляет универсальная транспортная сеть, реализующая функции транспортного уровня и уровня управления коммутацией и передачей.

В состав транспортной сети NGN могут входить:

транзитные узлы, выполняющие функции переноса и коммутации;

оконечные (граничные) узлы, обеспечивающие доступ абонентов к ресурсам мультисервисной сети;

контроллеры сигнализации, выполняющие функции обработки информации сигнализации, управления вызовами и соединениями;

шлюзы, обеспечивающие подключение традиционных сетей связи (ССПС).

Контроллеры сигнализации могут быть вынесены в отдельные устройства, предназначенные для обслуживания нескольких узлов коммутации.

Использование общих контроллеров позволяет рассматривать их как единую систему, распределенную по сети. Такое решение не только упрощает алгоритмы установления соединений, но и является наиболее экономичным для операторов и поставщиков услуг, так как позволяет заменить дорогостоящие системы коммутации большой емкости небольшими, гибкими и доступными по стоимости даже мелким поставщикам услуг.

Назначением транспортной сети является предоставление услуг переноса.

Реализация инфокоммуникационных услуг осуществляется на базе узлов служб (Service Node, SN) и/или узлов управления услугами (Service Control Point, SCP).

Узел служб(SN) является оборудованием поставщиков услуг и может рассматриваться в качестве сервера приложений для инфокоммуникационных услуг, клиентская часть которых реализуется окончательным оборудованием пользователя.

Узел управления услугами (SCP) является элементом распределённой платформы интеллектуальной сети связи (ИСС) и выполняет функции управления логикой и атрибутами услуг. Совокупность нескольких узлов служб или узлов управления услугами, задействованных для предоставления одной и той же услуги, образуют *платформу управления услугами*. В состав платформы также могут входить узлы административного управления услугами и серверы различных приложений. Оконечные/оконечно-транзитные узлы транспортной сети могут выполнять функции узлов служб, то есть состав функций граничных узлов может быть расширен за счет добавления функций предоставления услуг.

Для построения таких узлов может использоваться технология гибкой коммутации (Soft Switch). Инфокоммуникационные услуги предполагают взаимодействие поставщиков услуг и операторов связи, которое может обеспечиваться на основе функциональной модели распределённых (региональных) баз данных, реализуемых в соответствии с Рекомендацией МСЭ-Т X.500. Доступ к базам данных организуется с использованием протокола LDAP (Lightweight Directory Access Protocol).

Упомянутые базы данных позволяют решать следующие задачи:

- создание абонентских справочников;
- автоматизация взаиморасчётов между операторами связи и поставщиками услуг;
- обеспечение взаимодействия между операторами связи в процессе предоставления услуг ИСС;
- обеспечение взаимодействия терминалов, имеющих разные функциональные возможности, на двух концах соединения.

Базы данных могут использоваться также поставщиками услуг для организации платных информационно-справочных услуг. Концепция NGN во многом опирается на технические решения, уже разработанные международными организациями стандартизации.

Для управления услугами будут использованы протоколы H.323, SIP и подходы, применяемые в интеллектуальных сетях связи. В качестве технологической основы построения транспортного уровня мультисервисных сетей рассматриваются АТМ и IP с возможным применением в будущем оптической коммутации.

Раздел 4. Вопросы для самопроверки

1. Что обозначает термин телефония.
2. Какие особенности имеются у ТфОП.
3. Какие сети представлены в составе в ЕСЭ РФ.
4. Назовите уровни иерархии в ТфОП.
5. Какой способ построения ГТС считается рациональным, при использовании декадно-шаговых и координатных АТС.
6. Что позволяет строить нерайонированные ГТС емкостью в несколько десятков тысяч номеров.
7. Особенности СТС.
8. Общие принципы организации международной телефонной связи.
9. Что понимается под термином синхронизация.
10. Основное различие между двумя технологиями коммутации: аналоговой и цифровой.
11. Суть концепции «наложенной сети».
12. В чем заключается идеология развития цифровой сельской телефонной сети, называемой «сверху-вниз».
13. Принципы интегрального обслуживания.
14. Концепция Интеллектуальной сети.
15. Классификация услуг, предоставляемых ТфОП.
16. Дополнительные услуги в телефонии.
17. Способы реализации дополнительных услуг абонентам ТфОП.
18. Какие услуги эффективно поддерживаются аппаратно-программными средствами Интеллектуальной сети.
19. Перечислить услуги, которые эффективно поддерживаются средствами компьютерной телефонии.
20. Особенности предоставления услуг в СТС.
21. Перспективы развития рынка услуг ТфОП.
22. Что включает в себя термин качество обслуживания в ТфОП.
23. Основные характеристики качества обслуживания.
24. Основные тенденции к постепенному изменению качества обслуживания в ТфОП.
25. Расскажите об экспертной оценке качества телефонной связи, используя пятибальную шкалу.
26. Преимущества систем спутниковой связи.
27. Какие разновидности искусственных спутников Земли используются для построения систем спутниковой связи.
28. Преимущества и недостатки ИСЗ на высокой эллиптической орбите.
29. Преимущества и недостатки на геостационарной орбите.
30. Преимущества и недостатки на низковысотной орбите.
31. Достоинства радиорелейных линий связи.
32. Какие задачи решаются с помощью радиорелейных линий связи.
33. Классификация РРЛ.
34. Какие системы РРЛ относятся к системам большой емкости, средней емкости и малой емкости.
35. Что понимается под радиосистемой передач.

36. Как организуется система многоствольной РРЛ.
37. Организация декаметровых линий радиосвязи.
38. Недостатки диапазона декаметровых волн.
39. Недостатки систем КВ связи.
40. Достоинства системы КВ радиосвязи.
41. Организация передающей сети эфирного звукового вещания.
42. Пути повышения качества звукового вещания.
43. Преимущества и недостатки доведения программ до слушателя с помощью радиовещательных станций и по системе проводного вещания.
44. Организация сети проводного звукового вещания.
45. Организация передающей сети эфирного телевизионного вещания.
46. Структура передающей сети телевизионного вещания.
47. Организация систем кабельного телевидения.
48. Организация мультисервисных сетей.
49. Общая характеристика сети подвижной связи.
50. Принципы функционирования систем сотовой связи.
51. Организация сетей сотовой связи.
52. Алгоритмы функционирования систем сотовой связи.
53. Условия для обеспечения роуминга в сотовых сетях.
54. Понятие транкинговой системы радиосвязи.
55. Организация транкинговой системы связи.
56. Управление транкинговой системой связи.
57. Спектр услуг, предоставляемыми транкинговыми сетями связи.
58. Классификация сетей транкинговой связи.
59. Системы широкополосного беспроводного доступа.
60. Организация сетей персонального радиовызова.
61. Сети на базе виртуальных соединений.
62. Концепция и архитектура Интеллектуальной сети.
63. Особенности и преимущества частных виртуальных сетей.
64. Набор услуг, предоставляемой частной виртуальной сетью.
65. Сети Интернет.
66. Конвергенция сетей и услуг.
67. Концепция сетей следующего поколения.