

**СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ НАУКИ В ОБЛАСТИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ.
ЭВОЛЮЦИЯ И КОНВЕРГЕНЦИЯ
(ЭЛЕКТРОННЫЙ УЧЕБНИК)
Санкт-Петербург, 2008**

Предисловие

Часть 1. Глобальные тренды и основные движущие силы, определяющие развитие мирового

телекоммуникационного сектора

1.1. Эволюция законодательства и регулирования в телекоммуникационном секторе - переход от монополий к конкурентной среде

1.2. Эволюция сетей и услуг и роль ключевых технологий

1.2.1. Движущие силы, формирующие эволюционные процессы в телекоммуникациях

1.2.2. Базовые технологические тренды в телекоммуникациях

1.2.3. Рост объемов и изменение структуры трафика

1.2.4. Конвергенция сетей, процессов и услуг

Выводы по Части 1

Контрольные вопросы по Части 1

Часть 2. Эволюция сетевых технологий

2.1. Сети доступа

2.1.1. Ключевые факторы, определяющие эволюцию сетей доступа

2.1.2. Широкополосный доступ с использованием технологий xDSL

2.1.3. Широкополосный доступ в сетях кабельного телевидения

2.1.4. Широкополосный беспроводный доступ

2.2. Эволюция систем передачи

2.2.1. Аналоговые системы передачи

2.2.2. Цифровые системы передачи

2.2.3. Системы с мультиплексированием по длине волны (WDM)

2.3. Технологии коммутации и маршрутизации

2.3.1. Технология АТМ

2.3.2. Технология Интернет и ее эволюция

2.3.3. Качество обслуживания в сетях IP

2.3.4. Основные модели обеспечения качества обслуживания в сетях IP

2.4. Эволюция сетей мобильной связи

Выводы по Части 2

Контрольные вопросы по Части 2

Часть 3. Конвергенция фиксированных и мобильных сетей связи

3.1. Конвергенция сетей ТфОП/Интернет для голосовых услуг

3.2. Сети IP-телефонии на базе стандарта H.323

3.3. Сети IP-телефонии на базе протокола SIP

3.3.1. Архитектура сети SIP

3.3.2. Сообщения SIP

3.3.3. Сценарии сеансов в сети SIP

3.4. Оценка качества обслуживания в сетях VoIP

3.4.1. Введение

3.4.2. Субъективная оценка качества обслуживания при передаче речи

3.4.3. Объективная оценка качества обслуживания при передаче речи в пакетных сетях

3.4.4. Анализ факторов, влияющих на качество речи в пакетных сетях

3.5. Конвергенция фиксированных и мобильных сетей (ФМС)

3.5.1. Определение конвергенции ФМС и мотивация абонентов и операторов

3.5.2. Архитектура сетей на базе конвергенции ФМС

Выводы по Части 3

Контрольные вопросы по Части 3

Список сокращений

Литература

Предисловие

Предлагаемый вниманию электронный учебник освещает широкий круг вопросов, связанных с эволюцией и конвергенцией телекоммуникационных услуг и сетей. Развитие сетей, базирующихся на технологии IP, и рост сетей мобильной связи, с одной стороны, и желание пользователей получить доступ к широкому набору услуг, не зависящих от типа сети, с другой, приводят к конвергенции различных сетевых инфраструктур во многих направлениях.

Причины глубоких изменений, характерных для мирового телекоммуникационного сектора на протяжении последних тридцати лет, определяются рядом ключевых факторов, в первую очередь, изменением принципов регулирования в телекоммуникациях и технологическими трендами. Дерегулирование и либерализация в электросвязи и глобализация мировой экономики ведут к созданию конкурентной среды, тогда как прогресс в области микроэлектроники, программного обеспечения и волоконно-оптических технологий определяет появление новых принципов передачи и распределения информации и развитие новых услуг.

Первая часть предлагаемой книги посвящена характеристике ключевых факторов - политических, социальных, экономических и технологических, определяющих процессы эволюции и конвергенции в телекоммуникациях.

Затем рассматриваются характеристики основных процессов (мегатрендов), характерных сегодня для индустрии телекоммуникаций, таких, как цифровизация, развитие Интернет-технологий, мобильность и конвергенция сетей, процессов и услуг.

Во второй части дается характеристика эволюции базовых сетевых технологий, включая технологии сетей доступа и магистральных сетей. Внимание читателя фокусируется на основных принципах современных и перспективных систем передачи и распределения информации с тем, чтобы создать фундамент для понимания следующих глав, посвященных вопросам конвергенции в телекоммуникациях.

Третья часть посвящена различным аспектам конвергенции. Дается характеристика основных особенностей процессов конвергенции телефонных сетей и сетей передачи данных на базе протоколов H.323 и SIP, конвергенции сетей фиксированной и мобильной связи на платформе IMS.

Учебник адресован, в первую очередь, магистрантам, имеющим целью получить представление о том, как будут развиваться телекоммуникации в ближайшем будущем и поможет читателям, которые могут рассматривать книгу как введение в современные проблемы электросвязи.

Конечно, следует отчетливо понимать, что сегодня телекоммуникационный ландшафт меняется с очень высокой скоростью. Каждые несколько месяцев разрабатываются новые сетевые технологии, внедряются новые продукты и создаются новые услуги и эти изменения в реальном времени можно отразить только в журнальных статьях и докладах на конференциях. Вместе с тем, автор надеется, что содержание книги окажется достаточным для глубокого понимания феномена конвергенции.

Часть 1. Глобальные тренды и основные движущие силы, определяющие развитие мирового телекоммуникационного сектора

Сегодня является общепризнанным фактом, что электросвязь во всем мире находится на этапе интенсивного развития и в этом секторе экономики имеют место существенные изменения как на макро-, так и на микроуровнях. Среди глобальных изменений на макроуровне, в первую очередь, отметим формирование новой законодательной и регулирующей среды. Второй глобальный процесс, происходящий на макроуровне - эволюция сетей, служб и терминального оборудования в направлении конвергенции, определяемая, с одной стороны, прогрессом в ключевых технологиях и, с другой - новыми требованиями и растущими ожиданиями пользователей. В данном разделе мы даем детальную характеристику основных эволюционных процессов, характерных сегодня для индустрии телекоммуникаций, и определяем ключевые факторы, влияющие на природу этих процессов.

1.1. Эволюция законодательства и регулирования в телекоммуникационном секторе - переход от монополий к конкурентной среде

Формирование новой регулирующей и законодательной среды определяется развитием в телекоммуникациях таких процессов, как либерализация и приватизация. Ключевым фактором, оказавшим огромное влияние на мировые телекоммуникации, является либерализация, существо которой состоит в ослаблении или полной отмене государственного контроля

над различными видами экономической деятельности и экономическими параметрами. Либерализация и приватизация в телекоммуникационном секторе в 90-х г.г., определяющие переход от монопольной структуры рынка к конкурентной среде, привели к тектоническим сдвигам в индустрии электросвязи. Последствия либерализации и приватизации проявляются и будут продолжать проявляться не только в телекоммуникациях, но и во всей мировой экономике. По своим результатам введение нового регулирования в секторе электросвязи, основанного на либерализации мировых рынков, можно сравнить с последствиями падения Берлинской стены.

Одним из наиболее важных явлений, определивших возможность глобального распространения либерализации и приватизации в мировом телекоммуникационном секторе, стало принятие в феврале 1997 г., после 11 лет детальных обсуждений, соглашения, разработанного Всемирной торговой организацией (ВТО), которое уже оказало влияние на структуру телекоммуникационного сектора в мире.

Это соглашение определяет переход к широкой либерализации мирового телекоммуникационного рынка, открывая пути для конкуренции во многих странах. Поддержка соглашения более, чем 70 национальными правительствами, означает начало борьбы между операторами не только за пользователей в своих собственных странах, но и дает возможность операторам и поставщикам услуг распространить свою активность за пределами своих стран.

Результатом действия соглашения ВТО являются изменения на мировых телекоммуникационных рынках. Телекоммуникационная карта Европы, где большинство рынков было открыто для конкуренции в начале 1998 г., уже подверглась существенным изменениям и эти изменения происходят постоянно. В начале 90-х г.г. прошлого столетия большинство телекоммуникационных компаний в мире находилось под управлением государства. Сегодня практически во всех странах мира начался процесс либерализации и телекоммуникационные рынки открыты для конкуренции и иностранных инвестиций. Благодаря этому процессу, национальные Администрации связи могут привлекать иностранных партнеров для развития телекоммуникационной инфраструктуры, для обеспечения доступа к услугам связи всего населения страны. Эти процессы обеспечивают существенный выигрыш всем участникам телекоммуникационного сценария - правительствам,

операторам, производителям оборудования и, что наиболее важно, пользователям.

Другой ключевой фактор – приватизация телекоммуникационного сектора. В течение многих лет, начиная с первых сетей связи и на протяжении более ста лет, услуги связи почти во всех странах мира традиционно предоставлялись монопольными операторами, которые, как правило, принадлежали государству. Эта ситуация сохранялась до начала 90-х гг. 20-го века. Сегодня ситуация коренным образом изменилась. Практически во всех странах мира начался процесс приватизации и бывшие государственные телекоммуникационные операторские компании постепенно переходят в руки частных инвесторов.

На Рис. 1.1 представлены возможные направления реформы сектора телекоммуникаций. Государство может осуществлять реформу отрасли тремя путями: а) через приватизацию, б) через либерализацию, в) с помощью их комбинации, которая ведет к полной реформе сектора. Последний вариант реформы сектора редко осуществляется за один этап. Обычно страны начинают либо с приватизации, либо с либерализации перед тем, как использовать сочетание обоих подходов. Либерализация характеризуется полным или частичным открытием рынка и, как следствие, предоставлением доступа на рынок конкурентам. В то же время существующие компании остаются в собственности правительства, но попадают в конкурентную среду. Например, для конкуренции может быть открыт сектор местной телефонной связи, сектор услуг по передаче данных, рынок мобильной связи, тогда как рынок дальней связи остается под монополией существующих компаний, принадлежащих государству.

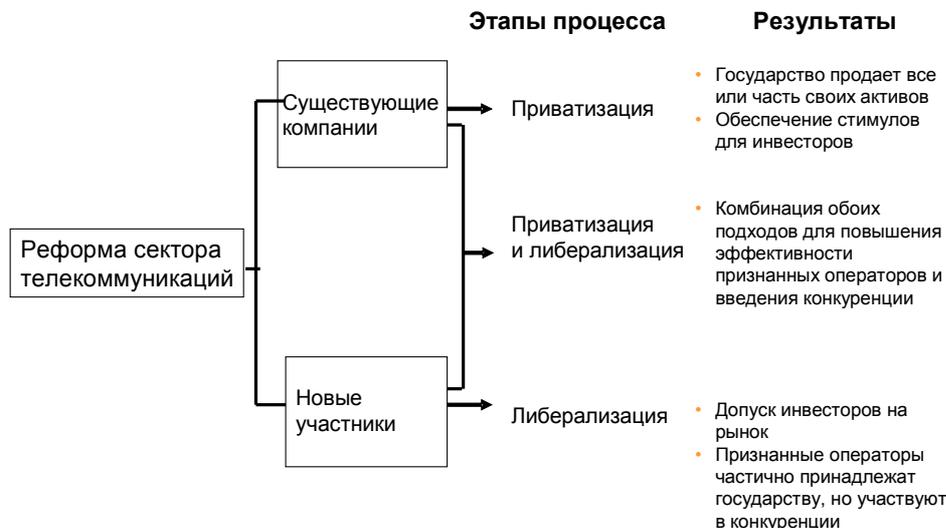


Рис. 1.1. Этапы процесса реформы телекоммуникационного сектора

С другой стороны, если сектор приватизируется, правительство продает всю или часть своей доли в существующих компаниях частным инвесторам. Наконец, если правительство идет по пути комбинированного подхода, когда либерализация и приватизация осуществляются одновременно, тогда создаются условия как для повышения эффективности существующих телекоммуникационных компаний, так и для создания конкуренции. В результате

реформы участники рынка – существующие компании и новые игроки, получают возможность формировать набор предоставляемых услуг, а также определять цены на эти услуги.

Большинство тех стран, которые еще продолжают сохранять монопольную структуру рынка электросвязи, объявили о планах открытия если не всего, то значительной части их рынков для конкуренции и иностранного участия в ближайшем будущем. Важно отметить при этом, что закрытые рынки и монополия государства на средства связи были разрушены практически без войны при полной поддержке правительств многих стран мира.

Либерализация и приватизация рынка связи являются следствием ряда процессов в технике, экономике, социальной жизни мирового сообщества. Определение движущих сил, ведущих к широкому распространению либерализации, является достаточно сложной задачей. Однако без сомнений в

качестве одного из ключевых факторов здесь следует рассматривать технологический прогресс.

Растущая производительность микропроцессоров, прогресс в области волоконно-оптических систем связи, появление мощных цифровых сигнальных процессоров, создание высокоэффективных методов компрессии и транспортировки информации – все эти процессы определяют технологические инновации, ведущие к ускорению развития сетевых технологий, к появлению сетей с очень высокими пропускными способностями, к увеличению числа и к снижению стоимости услуг связи.

По существу, рост конкуренции и уровень охвата телекоммуникационными услугами являлись основными целями введения нового регулирования в последние годы. Но для того, чтобы эти задачи могли быть успешно решены, реформа должна повлиять на несколько факторов, основными из которых являются:

- возможность доступа к услугам;
- уровень конкурентоспособности цен;
- возможность выбора услуг;
- правила присоединения для сетей Интернет и передачи данных;
- процент фиксированных и мобильных линий доступа, позволяющих использовать их для доступа в Интернет.

Реформы также должны взаимодействовать с другими экономическими факторами инфокоммуникационного рынка (например, плотность персональных компьютеров или проникновение интерактивного телевидения). Например, в США операторские компании проводили политику бесплатных местных вызовов и отсутствия платы за передачу данных, что сделало пользование услугами Интернет бесплатным. В то же время в ряде стран пользователи платят за коммутируемый доступ в Интернет на поминутной основе. Безусловно, такие различные стратегии в существенной степени влияют на отношение пользователей к услугам Интернет. В тех случаях, когда пользователи оплачивают пользование услугами Интернет по единому тарифу (так называемые гладкие тарифы), они лучше воспринимают широкополосные услуги, так как в этом случае ценность доступа, не измеряемого по времени, становится намного понятнее.

В целом, существует определенный набор мер, которые должны осуществить регулирующие органы для успешного проведения реформ отрасли

связи. Прежде всего, в отрасли необходимо создать стабильную среду для успешного технологического развития и формирования современной инфраструктуры инфокоммуникаций. Если к тому же государство будет поддерживать продвижение новых технологий с помощью собственных инвестиций, например, участвуя в государственных программах, таких, как создание электронного правительства, развитие нанотехнологий и др., это будет означать мощную дополнительную поддержку реформ.

Правила регулирования должны активно поддерживать развитие фиксированного и мобильного доступа, т.е. содействовать увеличению емкости сетей связи. Регулирующие органы должны понимать и огромное значение технологий широкополосного доступа.

И операторы, и конеч

ные пользователи будут удовлетворены, если цены регулируются не правительственными учреждениями, а конкуренцией среди операторов.

Понимание важности перечисленных выше деталей и конструктивные последовательные шаги, направленные на улучшение структуры регулирования в стране, будут поддерживать центральную роль реформ в будущем развитии инфокоммуникаций. И либерализация, и приватизация в электросвязи тесно связаны с технологическим прогрессом. Оба этих процесса поддерживаются новыми связными технологиями, в первую очередь, такими, как Интернет и мобильная связь, коренным образом меняющими стандартные формы работы и отдыха людей.

1.2. Эволюция сетей и услуг и роль ключевых технологий

1.2.1. Движущие силы, формирующие эволюционные процессы в телекоммуникациях

Наиболее важными движущими силами в эволюции сетей и услуг связи являются достижения в следующих ключевых областях:

- микроэлектроника;
- фотонные технологии;
- программное обеспечение.

А. Закон Мура

Сегодня общепризнанным является тот факт, что изменение производительности и стоимости систем и устройств на интегральных схемах

на протяжении последних нескольких десятилетий соответствует известному закону Мура. Гордон Мур (Gordon Moor) - один из основателей корпорации Intel, в 1964 г. сформулировал следующий технологический принцип: производительность интегральных схем (измеряемая в числе операций в секунду) будет удваиваться каждые 18 месяцев, а их стоимость будет уменьшаться при этом на 50 %, и эта закономерность будет сохраняться в течение нескольких десятилетий. Рост производительности процессоров, отвечающий закону Мура, иллюстрируется на рис. 1.2.

По существу, в области микроэлектроники два процесса рассматриваются как ключевые: увеличение производительности компьютеров и рост объемов доступной памяти, с одной стороны, и уменьшение цены устройств, с другой. Широкое применение компьютеров становится одним из главных факторов, влияющих на характеристики систем связи и определяющих рост производительности систем передачи и коммутации и возможности предоставления большого числа услуг при уменьшении их стоимости. Ожидается, что эти тенденции сохранятся в течение первой четверти следующего столетия.

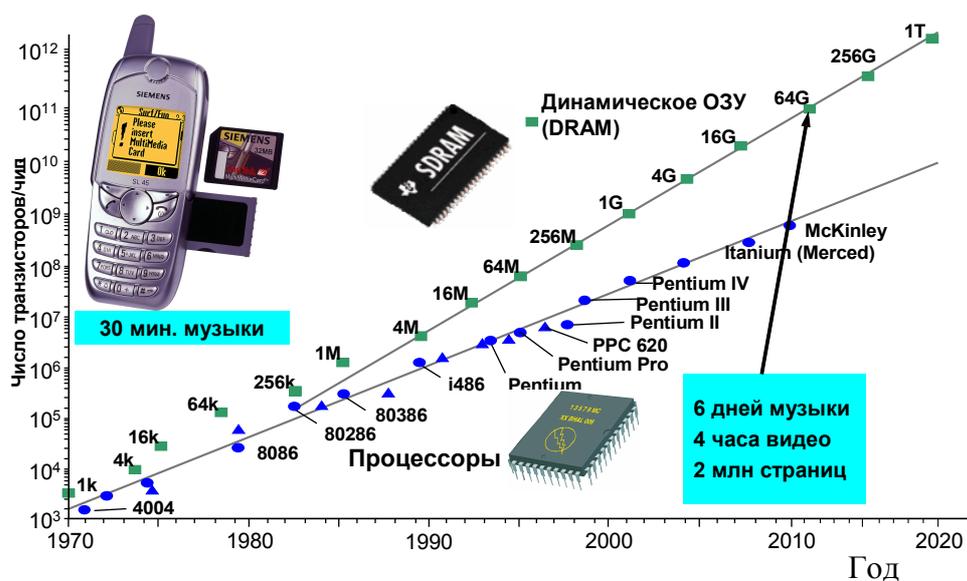


Рис. 1.2. Рост производительности процессоров в соответствии с законом Мура

Среди других важных следствий закона Мура отметим уменьшение потребляемой мощности и увеличение миниатюризации полупроводниковых

устройств. С учетом непрерывного роста числа транзисторов на одну микросхему, можно ожидать в ближайшем будущем появления терминальных устройств (персональных компьютеров, ПК, мобильных телефонов и др.) в виде одиночных чипов. Однако прогресс в сетевых технологиях в будущем связан не только с развитием микросхемотехники, но и с достижениями в волоконно-оптических технологиях и прогрессом в разработке программного обеспечения.

Б. Волоконно-оптические технологии

Внедрение волоконно-оптических систем в сетях связи началось в середине 70-х г.г. прошлого столетия. Основные тенденции развития волоконно-оптических систем передачи за прошедшие 35 лет сводятся к следующему:

- переход от многомодового к одномодовому волокну;
- изменение длины волны используемого спектрального окна с $\lambda=0,85$ мкм до $\lambda=1,33/1,55$ мкм;
- уменьшение затухания в волокне от нескольких десятков дБ/км до значений порядка 0,2 дБ/км;
- увеличение скоростей передачи, сопровождаемое уменьшением стоимости систем.

Относительно быстрое продвижение на телекоммуникационный рынок волоконно-оптических систем связи, характеризующихся существенно большими пропускными способностями по сравнению с системами на традиционных металлических кабелях, привело к появлению мифа о том, что замена металлических кабелей на волоконно-оптические позволит решать все проблемы, порождаемые недостатком сетевых ресурсов. Однако развитие в последние годы новых приложений и служб, связанных с генерацией, транспортировкой и обработкой громадных объемов трафика, привело к ситуации, когда проблема нехватки полосы пропускания, причем как в транспортных сетях, так и в сетях доступа вновь встала с большой остротой.

Необходимость быстрого наращивания пропускной способности сетей связи обусловлена, в первую очередь, взрывным характером роста суммарного трафика, особенно, трафика данных. Огромный рост трафика в сетях связи определяется рядом факторов, среди которых, в первую очередь, отметим следующие:

- ускоренное развитие Интернет;

- коммерческие применения обмена графической и видеоинформацией;
- рост всемирного бизнеса, что ведет к росту глобального трафика.

Наиболее впечатляющие результаты в росте пропускной способности достигнуты в магистральных сетях, где применение волоконно-оптических кабелей и систем передачи SDH позволило уже в начале 90-х гг. получить скорости передачи информации порядка 10 Гбит/с. Однако переход к более высоким скоростям передачи на основе технологии SDH ограничивается определенными физическими явлениями в волокне. Дальнейший рост пропускной способности транспортных сетей стал возможным при применении технологии DWDM, основанной на принципе волнового мультиплексирования или разделения каналов по длине волны и позволяющей получить скорости передачи несколько сотен Гбит/с и даже нескольких Тбит/с в одном волокне. Возможности новой технологии таковы, что весь сегодняшний мировой телефонный трафик можно передать по одной паре волокон. Внедрение технологии DWDM позволяет решить проблему «узких» мест в магистральных крупномасштабных сетях. Новая технология начинает применяться и в региональных сетях, В то же время сегодня поставщики оборудования и операторы осознают, что соответствующее качество мультимедийных услуг может быть обеспечено только при адекватных пропускных способностях как магистральных сетей, так и сетей доступа, В последние несколько лет появились разработки, позволяющие развертывать эффективные системы на основе технологии DWDM и в сетях доступа.

Новые транспортные технологии на базе применения волоконно-оптических систем обеспечивают сегодня практически экспоненциальный рост пропускной способности сетей, существенно увеличивая сетевые возможности и уменьшая стоимость передачи информации. Однако, необходимо отметить, что сравнимые достижения в увеличении пропускных способностей и в уменьшении стоимости в сетях связи не так очевидны, как в микроэлектронике. Происходит ли это в связи с реальной стоимостью определенной связной технологии или из-за соответствующей ценовой стратегии основных участников телекоммуникационного сценария, остается во многих случаях достаточно неопределенным.

Вместе с тем, и разработчики оборудования, и операторы полагают, что применение высокоскоростных технологий в магистральных сетях может привести к значительному снижению удельной стоимости передачи

информации (т.е. стоимости передачи одного бита). Возможности таких новых транспортных технологий, как DWDM, с одной стороны, и конкуренция, с другой, оказывают столь сильное влияние на стоимость транспортировки информации, что в настоящее время активно обсуждается возможность построения так называемых «гладких сетей», в которых тарифы могут практически не зависеть от расстояния. Более детально этот вопрос будет обсуждаться ниже.

В. Программное обеспечение

Развитие аппаратно-программных средств и услуг, основанных на применении открытых стандартов, обеспечивает широкие возможности взаимодействия сетей и систем и высокий уровень конкуренции, что ведет к появлению менее дорогих и более высококачественных продуктов и услуг.

В настоящее время стоимость программного обеспечения (ПО) составляет 75-80 % стоимости продуктов. Основным направлением развития программных средств является создание новых систем программирования, позволяющих снизить стоимость разработки ПО, обеспечивающих простоту применения и высокую функциональность аппаратно-программных средств.

1.2.2. Базовые технологические тренды в телекоммуникациях

В число основных (глобальных) тенденций, которые сегодня можно рассматривать как ключевые факторы, определяющие формы и содержание телекоммуникаций в будущем, входят:

- всепроникающая цифровизация;
- рост сетей мобильной связи;
- рост Интернет и связанный с этим процесс перехода от сетей с коммутацией каналов к сетям с коммутацией пакетов, не ориентированным на соединения;
- конвергенция сетей, процессов и услуг.

Основные изменения и сдвиги в телекоммуникациях иллюстрируются на рис. 1.3.

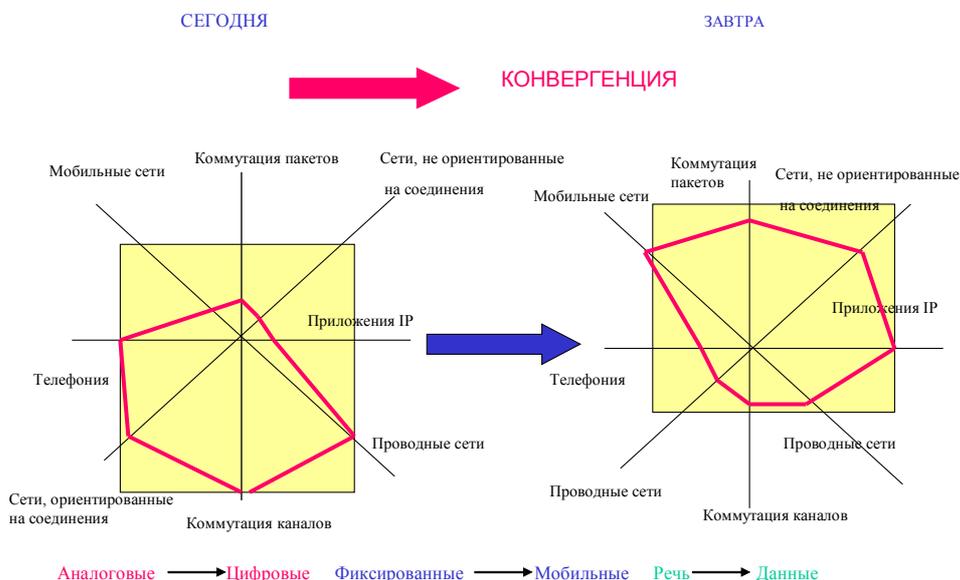


Рис.1.3. Основные тренды в современных телекоммуникациях

А. Цифровизация

Одним из наиболее мощных факторов прогресса в телекоммуникациях является цифровизация информации, средств ее обработки и доставки. Начавшийся в 60-е гг. переход от аналоговой формы представления информации всех типов к цифровому формату делает более легко реализуемыми процессы обработки, накопления и транспортировки информации.

Традиционно сети проектировались и строились для определенных типов трафика, таких, как речь, данные, текст или видео. Цифровые сети могут рассматриваться как сети общего назначения, обеспечивающие транспортировку любого типа трафика. Теоретически цифровые сети могут переносить все виды информации, разрушая, таким образом, устойчивые традиции, когда для передачи речи создавались телефонные сети, а видеотрафик распределялся в традиционных сетях ТВ или в сетях кабельного телевидения (КАТВ).

Сети связи в настоящее время или в недалеком будущем, становятся полностью цифровыми и характеризуются широким применением вычислительных средств. Всепроникающий компьютеризм означает, что микропроцессоры будут использоваться повсюду, оказывая определяющее влияние на характеристики систем. Сети начинают использоваться не только для транспортировки информации, но и для управления приложениями. Этот процесс ведет к конвергенции между электросвязью и другими тесно связанными отраслями, работающими с содержанием, такими, как издательская деятельность, обучение, развлечения и т. д.

Б. Мобильная связь

Без сомнения, мобильная связь сегодня является одной из наиболее мощных движущих сил в индустрии телекоммуникаций. Доходы от мобильной связи превосходят доходы от международной связи в стационарных телефонных сетях и прогнозы развития систем мобильной связи предсказывают высокие темпы их развития. В развитых и некоторых развивающихся странах емкость сетей сотовой связи уже превысила аналогичный показатель для стационарных сетей и плотность мобильной телефонной связи (число мобильных телефонов на 100 жителей) превышает 100%.

Мобильная связь рассматривается сегодня как важная движущая сила в развивающихся регионах мира, где она может составить существенную альтернативу стационарным телефонным сетям. Высокие темпы развития сотовых сетей отмечены в России, где в 2007 г. мобильная телефонная плотность достигла 126%.

Постоянно растущая мобильность пользователей будет поддержана мобильными системами третьего поколения, масштабное развертывание

которых уже началось. Системы подвижной связи третьего поколения, развивающиеся сегодня в рамках проектов IMT-2000 и UMTS, будут функционировать на всех континентах, предоставляя пользователям доступ к большому числу услуг, включая и широкополосные. Рост полосы пропускания, являющийся сегодня характерным для фиксированных сетей, станет необходимым условием развития наземных и спутниковых систем подвижной связи.

Мобильная революция есть нечто большее, чем только мобильный телефон. Широкое применение мобильных систем и мобильных служб, в первую очередь для передачи данных, ведет к развитию таких новых форм деятельности, как телекомпьютинг или работа с удаленными приложениями с помощью средств связи в офисе, дома, во время поездок и т.д. Концепция мобильности будет играть ключевую роль в стирании границ между домом и офисом, между работой в сети своего «домашнего» оператора и «чужой» сети.

Однако, несмотря на взрывоподобное развитие мобильных сетей все еще наблюдается постоянное отставание по времени между внедрением приложений в фиксированных и беспроводных сетях (Рис. 1.4). Обычно, этот временной сдвиг составляет 3 – 5 лет. Наличие постоянного отставания мобильных сетей от фиксированных можно объяснить тем обстоятельством, что стационарные сети всегда имели лучшие эксплуатационные характеристики по функциональности, быстрдействию и стоимости услуг.

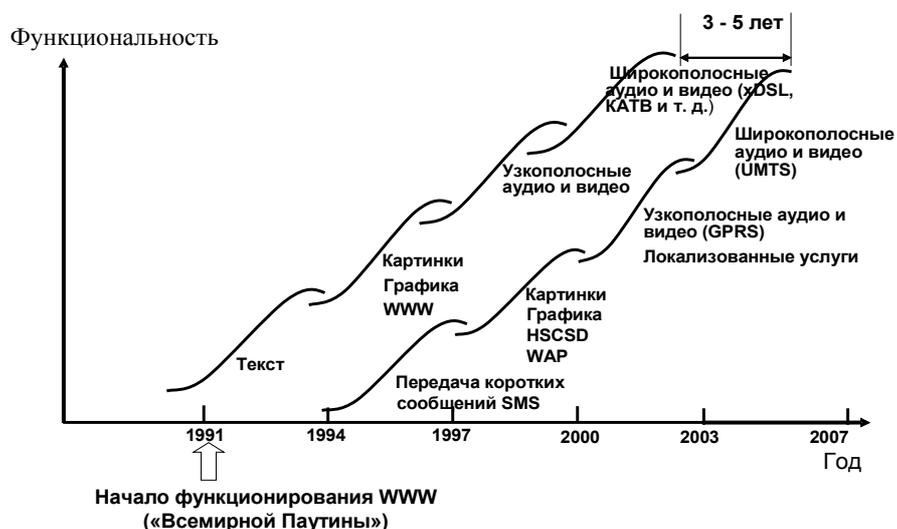


Рис. 1.4. Отставание по времени беспроводных сетевых приложений от приложений в стационарных сетях

xDSL – семейство технологий DSL (Digital Subscriber Line, Цифровая абонентская линия); UMTS – Universal Mobile Telecommunications Systems (стандарт сетей сотовой связи третьего поколения); GPRS – General Packet Radio System, Общая услуга пакетной радиосвязи (технология передачи данных с коммутацией пакетов для сетей GSM); WWW – World-Wide Web, Услуга «Всемирная паутина»; HSCSD – High Speed Circuit Switched Data, Высокоскоростная передача данных с коммутацией каналов (технология для сетей GSM); WAP – Wireless Applications Protocol, Протокол беспроводных приложений; SMS – Short Message System, Услуга передачи коротких сообщений

В. Развитие сетей Интернет

Рост масштабов сетей Интернет представляет собой пример наиболее быстрого принятия технологии массовым потребителем по сравнению с другими информационными технологиями. Так, например, в США число пользователей радио достигло 50 млн. через 38 лет после его открытия; для 50 млн. телевизионных зрителей этот срок составил 13 лет; персональные компьютеры стали доступны 50 млн. пользователей через 16 лет после их изобретения. В то же время число абонентов Интернет достигло 50 млн. всего через четыре года после того, как сети Интернет стали фактически сетями общего пользования (см. Рис. 1.5.).

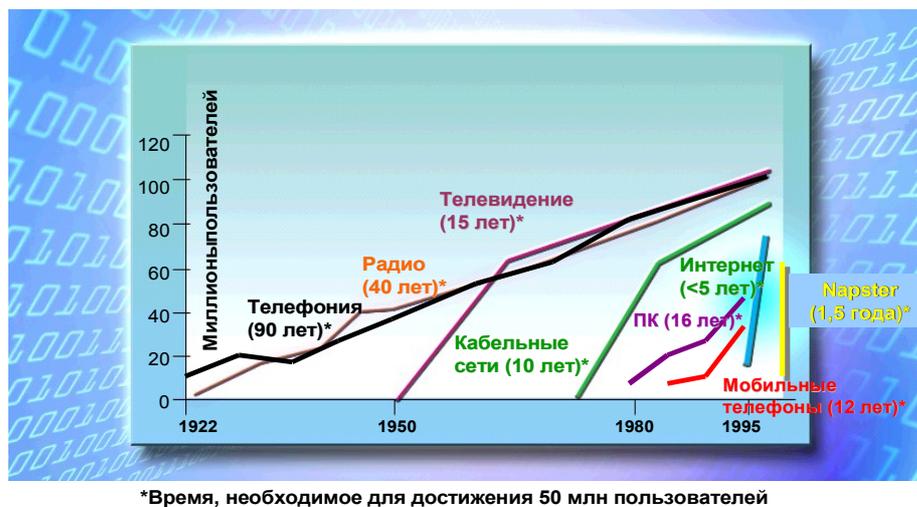


Рис. 1.5. Скорость проникновения различных технологий/услуг на рынок США

В 2007 г. емкость мировой сети Интернет достигла 0.9 миллиарда пользователей, и, основываясь на динамике, эта цифра быстро приближается к количеству пользователей фиксированных сетей (1,2 миллиарда). Рост масштабов Интернет порождает существенное увеличение требований к пропускной способности транспортных сетей и сетей доступа. Развитие сетей Интернет и сопровождающий его рост трафика данных ведут к тому, что в сетях связи происходит смещение от технологий транспортировки, основанных на коммутации каналов, в сторону технологий, базирующихся на коммутации пакетов. Следует отметить, что на этот процесс оказывает влияние не только развитие Интернет, но и растущее применение высокоскоростных локальных сетей и территориально распределенных сетей обработки данных, также использующих технологию коммутации пакетов.

Коммутация пакетов, предложенная в конце 60-х гг. для передачи данных в форме блоков переменной длины, сегодня начинает все шире применяться и для других типов трафика. Проблемы, связанные с обеспечением требуемых показателей качества при пакетной передаче речи и видео в интерактивных приложениях и казавшиеся непреодолимыми еще в начале 90-х гг., начинают успешно решаться благодаря применению систем с высокой пропускной способностью и внедрению новых протоколов транспортировки информации. Наиболее ярким примером здесь является Интернет-телефония, первые коммерческие системы для которой были продемонстрированы в 1995 г.

Как следствие, широкое применение сетей с коммутацией пакетов для транспортировки все больших объемов трафика быстро ведет к уменьшению

роли коммутируемых телефонных сетей общего пользования и обеспечивает возможность массового доступа к недорогим телекоммуникационным услугам.

Эволюция основных технологий, применяемых в современных сетях связи, рассматривается во второй части данного учебника.

1.2.3. Рост объемов и изменение структуры трафика

В течение многих лет развития электросвязи основная часть сетей обслуживала узкополосный речевой трафик, формируемый в стационарных (фиксированных) телефонных сетях, а затем и в сетях подвижной связи первого и второго поколений. В 90-е гг. объем речевого трафика продолжал расти в соответствии с увеличением емкости мировой фиксированной телефонной сети - примерно на 5-7 % в год.

Трафик данных в течение 1970/80-х гг. составлял лишь доли процентов от суммарного трафика речи. Этот трафик, в основном, формировался в системах электронной почты и относительно низкоскоростных локальных сетях. Многие эксперты еще сравнительно недавно, в конце 80-х гг., предполагали, что в обозримом будущем объем трафика данных будет составлять всего несколько процентов от общего трафика. Только начиная с середины 1990-х гг. (одна из основных причин - быстрый рост Интернет) трафик данных начинает резко расти.

На рис. 1.6 показан рост трафика данных (в терминах требуемой пропускной способности магистральных сетей). При этом значительный вклад в трафик данных определяется (и эта тенденция будет сохраняться) трафиком, формируемым в приложениях, базирующихся на технологии Интернет, в первую очередь, WWW-приложениях, где мультимедийный трафик играет доминирующую роль.

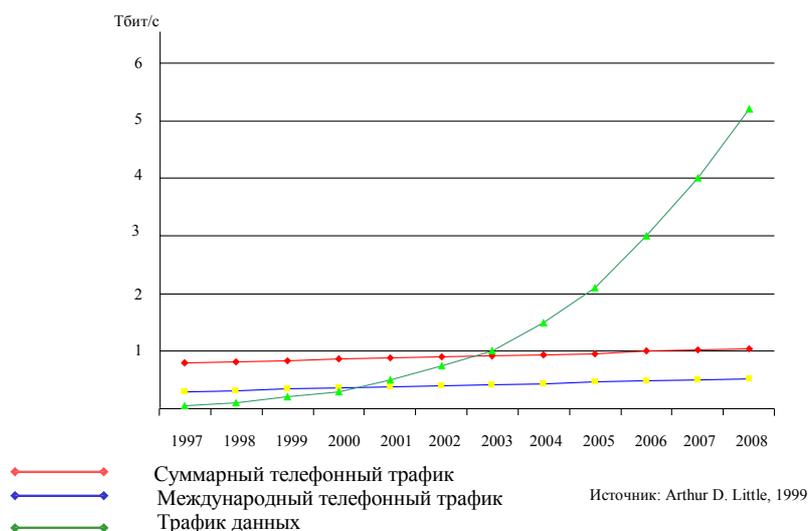


Рис. 1.6. Прогноз роста глобального трафика речи и данных

Изменение природы трафика оказывает существенное влияние на структуру сетей. Одной из главных особенностей речевого трафика является его чувствительность к задержкам. Известно, что предельно допустимое значение задержки речи не должно превышать 250 мс, а нормы на суммарную межконцевую сетевую задержку речевого сигнала лежат в диапазоне 100-150 мс. Чувствительность речевого трафика даже к весьма небольшим задержкам определила выбор коммутации каналов в качестве единственного способа коммутации в традиционных телефонных сетях.

Трафик данных менее чувствителен к задержкам даже в тех случаях, когда передача данных должна осуществляться в режиме реального времени. Допустимые задержки при передаче компьютерной информации лежат в очень широком диапазоне от нескольких секунд до сотен минут, что и определяет возможность использования коммутации пакетов как основного вида коммутации в сетях передачи данных. Коммутация каналов долгие годы была основным видом коммутации в сетях электросвязи, поскольку речевой трафик составлял основу информационных потоков в сетях. Сегодня в условиях, когда трафик данных становится основным, наблюдается сдвиг от сетей с коммутацией каналов к сетям с коммутацией пакетов.

Взрывной характер роста трафика данных определяет еще одну фундаментальную тенденцию в современных сетях - изменение требований к

полосе пропускания сетей доступа и базовых сетей. Происходит постепенный переход от узкополосных сетей с пропускной способностью тракта до 2 Мбит/с к широкополосным сетям с пропускными способностями трактов порядка десятков и сотен Гбит/с, Уже сегодня речь идет о необходимости обеспечивать пропускные способности магистральных сетей в диапазоне несколько Тбит/с,

Требуемые пропускные способности систем передачи в транспортных сетях могут быть обеспечены на базе систем SDH-64 и технологии DWDM. Скорости передачи трактов в базовых сетях, равные нескольким сотням Гбит/с, становятся стандартными в системах дальней связи, что приводит к значительному уменьшению стоимости передачи информации в таких системах.

1.2.4. Конвергенция сетей, процессов и услуг

Эволюция сетевых технологий сопровождается экспоненциальным ростом числа телекоммуникационных служб. Еще недавно основные услуги были связаны с голосовыми приложениями, однако сегодня и, несомненно, в будущем будет возрастать роль мультимедийных интерактивных служб, что приведет к исчезновению различий между информационными и телекоммуникационными технологиями.

Глобальные тренды, характерные для современных и будущих сетей, услуг и приложений, приводят к изменениям основных концепций, доминировавших в телекоммуникационной индустрии на протяжении многих лет. Перечислим основные технологические сдвиги, сопровождающие процесс эволюции в электросвязи:

- от телефонов, персональных компьютеров и ТВ-приемников - к мультимедийным терминалам;
- от специализированных сетей - к открытым и взаимодействующим сетям;
- от специализированных услуг - к универсальным приложениям;
- от речевого трафика - к трафику данных и мультимедийному трафику.

Сегодня является бесспорным фактом то, что эволюция услуг в фиксированных сетях будет определяться активным развитием мультимедийных приложений в ближайшие пять - десять лет. Этот прогноз подтверждается анализом ряда движущих сил в информационном сообществе:

- растущее применение бытовой электроники - телевизоров, видеомэгнитофонов, видеоигр, CD-проигрывателей, персональных компьютеров и т.д.;
- развитие информационных, коммерческих и развлекательных услуг;
- быстрое распространение Интернет.

На развитие Интернет будут влиять новые приложения, среди которых отметим, в первую очередь, системы Voice over IP (VoIP, Голос поверх IP), корпоративные информационные системы, электронные банковские операции, электронную коммерцию и др.

Основой успешного развития мультимедийных интерактивных служб является предоставление адекватной полосы пропускания в сетях доступа и магистральных сетях. Рост полосы пропускания, характерный сегодня для стационарных сетей, в ближайшем будущем будет обязательным условием развития мобильных сетей связи, в которых основные приложения сегодня связаны с передачей речевого трафика.

Сегодня не вызывает сомнений, что основополагающим процессом в электросвязи становится конвергенция. Термин «Конвергенция», часто применяемый при описании эволюционных процессов в различных областях науки и техники, в последние несколько лет стал широко использоваться в телекоммуникациях. В декабре 1997 г. в документах Европейской Комиссии, конвергенция была определена как возможность различных сетевых платформ обеспечивать практически одинаковый набор услуг или объединение конечных устройств, таких, как телефон, персональный компьютер и ТВ-приемник, в форме единого терминала.

Как правило, в телекоммуникациях рассматриваются три аспекта конвергенции - конвергенция услуг, конвергенция сетей и конвергенция терминалов. Под конвергенцией услуг/приложений, обеспечивающей новые расширенные функциональные возможности для пользователей, понимается доступность всех реализуемых в сети услуг для любых видов абонентов – фиксированных или мобильных. Конвергенция сетей означает переход к единой транспортной технологии, поддерживающей весь набор услуг. Конвергенция терминалов предполагает использовать один терминал, независимо от способа доступа к предлагаемым услугам.

В результате структурных изменений в телекоммуникациях начинают исчезать различия между сетями общего пользования и корпоративными

сетями, сетями передачи данных и телефонными сетями. Передача речи через IP-сети предоставляет широкие возможности для пользователей, готовых обменять качество на цену услуги. Кроме того, IP-телефония позволит корпоративным пользователям уменьшить затраты на связь при использовании сетей Интернет как основной транспортной среды для всех типов информации.

Постепенное улучшение показателей качества будет увеличивать число пользователей IP-телефонии, и сети IP, первоначально используемые только для передачи данных, постепенно мигрируют к мультимедийным сетям на базе технологии Интернет. Такие сети будут поддерживать все виды трафика, включая и трафик реального времени и обеспечивая показатели качества обслуживания, сравнимые с аналогичными показателями для современных телефонных сетей.

Основными направлениями конвергенции электросвязи в настоящее время являются:

- в фиксированных сетях – передача голоса и видео на базе протокола IP (Voice over IP, IPTV);
- в области мобильных сетей – конвергенция с фиксированными сетями на базе платформы IMS (Internet Multimedia Subsystem).

Вопросы конвергенции сетей рассматриваются в третьей части данного учебника.

Выводы по Части 1

Определены основные движущие силы, определяющие процессы эволюции и конвергенции в телекоммуникациях – переход от монополии в области связи к конкурентной среде и технологические факторы – прогресс в области микроэлектроники и внедрение волоконно-оптических систем. Определены основные тренды развития телекоммуникаций - цифровизация систем и сетей связи, взрывной характер развития сетей Интернет и мобильной связи, рост объемов трафика, передаваемого в сетях. Вводится общее понятие о конвергенции в телекоммуникациях, и рассматриваются три основных аспекта конвергенции – конвергенция услуг, сетей и терминалов. Определены основные направления конвергенции в фиксированных и мобильных сетях.

Контрольные вопросы по Части 1

1. Когда в мире начался переход к новому регулированию в телекоммуникациях?
2. Назовите основные регулирующие процессы, определяющие развитие новых телекоммуникационных рынков.
3. В чем разница между либерализацией и приватизацией?
4. Назовите основные факторы, определяющие успех нового регулирования в телекоммуникациях.
5. Назовите основные движущие силы, определяющие технологический прогресс в телекоммуникациях.
6. Какие основные процессы определяются законом Мура?
7. Какие основные процессы характерны для эволюции волоконно-оптических систем связи?
8. Почему в последние годы возникла необходимость в высоких пропускных способностях систем связи?
9. Назовите основные тренды в развитии сетей связи.
10. Что такое цифровизация сетей связи?
11. Охарактеризуйте причины отставания мобильных систем от систем фиксированной связи.
12. Охарактеризуйте скорость проникновения услуг на рынок связи.
13. Дайте характеристику роста трафика в различных сетях связи.
14. Что происходит с услугами и приложениями на современном этапе развития сетей связи?
15. Дайте определение термина «Конвергенция» применительно к телекоммуникациям.

Часть 2. Эволюция сетевых технологий

Технологические тренды, которые обсуждались выше, ведут к развитию новой сетевой архитектуры. На Рис. 2.1 показана обобщенная структура сети, отвечающая новым представлениям об архитектуре современных и перспективных сетей общего пользования. Эта сеть включает в себя два основных сегмента:

- магистральную сеть, состоящую из транспортного сегмента (системы передачи информации) и сетевых узлов, выполняющих функции коммутации или (и) маршрутизации
- сеть доступа, в которой используются различные физические среды для подключения пользователей к сети

Перспективные широкополосные технологии, обеспечивающие эффективный доступ к удаленным информационным ресурсам, представлены в р. 2.1. В р. 2.2 описывается эволюция высокоскоростных систем передачи, используемых в магистральных сетях. Здесь же рассматриваются основные свойства технологий ATM и Интернет с позиций возможного их применения при построении мультисервисных сетей. В последнем разделе второй главы дается характеристика эволюционных процессов в сетях подвижной связи.

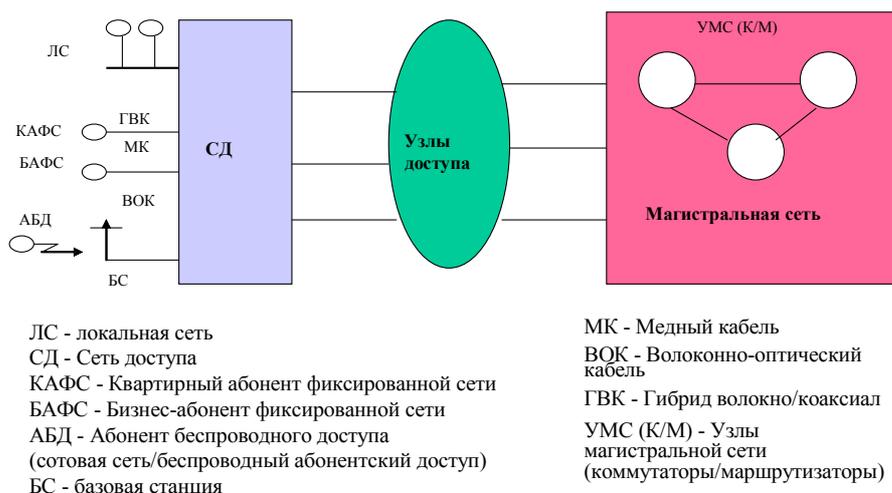


Рис. 2.1. Обобщенная структура современной сети связи

2.1. Сети доступа

2.1.1. Ключевые факторы, определяющие эволюцию сетей доступа

Термин "сеть доступа" (английский термин Access Network), ставший популярным в последние годы, является полным аналогом термина "сеть абонентского доступа", широко используемого в отечественной литературе по сетям связи. Этот термин определяет участок сети связи (рис. 2.2) между абонентской розеткой или, в более общем случае, между сетевым окончанием (NT- Network Termination) и интерфейсом к узлу доступа или к местной телефонной станции. Сетевое окончание является границей, разделяющей сеть доступа и оборудование пользователя.

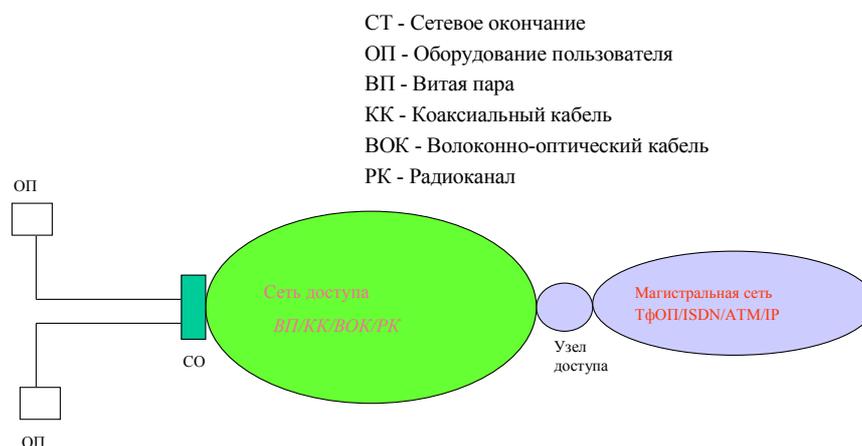


Рис. 2.2. Определение сети доступа

Связь между оборудованием пользователя и местной станцией осуществляется через абонентскую линию или абонентский шлейф (Subscriber Loop). В сети доступа широко применяются механизмы мультиплексирования и концентрации. При подключении к местной станции используются либо фирменные интерфейсы (определяемые производителями оборудования), либо открытые интерфейсы, например, V5.x (семейство узкополосных интерфейсов) и VB5.X (семейство широкополосных интерфейсов). Традиционные интерфейсы (как фирменные, так и открытые) могут быть дополнены интерфейсами типа IP, SDH, ATM и др.

В настоящее время сети доступа местных телефонных сетей уже не могут существовать как изолированные инфраструктуры. Строительство высокоскоростных магистральных сетей с пропускными способностями, равными десяткам и сотням Гбит/с, развитие новых служб (высокоскоростная передача данных, мультимедийные приложения и др.) и появление в местных сетях альтернативных операторов, предлагающих в жесткой конкуренции с традиционными операторами широкий набор дополнительных услуг, привели к тому, что абонентская сеть, построенная на базе устаревших принципов и технологий, стала "узким местом", ограничивающим возможности доступа абонентов к современным услугам связи.

Одним из главных ключевых факторов, которые необходимо принимать во внимание при анализе процессов эволюции сетей доступа, является высокая стоимость сетей абонентского доступа, составляющая до 50-70 % стоимости местных телефонных сетей. В классической телефонной сети общего пользования основная часть абонентских линий построена на базе медных кабелей. При продолжающемся применении медного кабеля в сетях доступа затраты на сетевую инфраструктуру будут расти в связи с увеличением цен на медь, а также с ростом стоимости проектных, строительных работ и эксплуатационных расходов в таких сетях. Поэтому постоянно, особенно в последние годы, идет активный поиск новых решений, включающий в себя создание более совершенного оборудования для существующих медных кабелей, развертывание сетей доступа на базе коаксиальных и волоконно-оптических кабелей, применение систем беспроводного абонентского доступа и др.

Второй ключевой фактор, влияющий на эволюцию сетей доступа, определяется, с одной стороны, новыми требованиями абонентов к увеличению пропускной способности сетей доступа, и с другой стороны, необходимостью обеспечения широкого класса новых услуг, включающих в свой состав передачу речи, данных и видеоинформации в интерактивном и вещательном режимах.

Требования к увеличению полосы пропускания в сетях доступа определяются новыми мультимедийными приложениями, порождаемыми технологией Интернет и цифровыми вещательными системами. Ускоренная передача WWW-страниц, видеоклипов и ряд подобных приложений требуют на участке доступа применения скоростей передачи до 10 Мбит/с. Распределение

цифровых ТВ программ (Digital Video Broadcasting, DVB), видео по требованию (Video-on-Demand, VoD), интерактивное телевидение создают высокоскоростной мультимедийный трафик, передача которого не может быть реализована без создания широкополосных абонентских сетей.

Предоставление широкополосного доступа является сегодня ключевым вопросом для большинства телекоммуникационных операторов - как традиционных, так и альтернативных. Решение проблемы широкополосного доступа позволит удовлетворить требования пользователей и получить наибольший доход от введения новых услуг.

Фактор, связанный с необходимостью увеличения полосы пропускания сетей доступа, начал действовать особенно активно с середины 90-х гг. в связи с потребностями массового доступа к услугам Интернет и желанием операторов предоставить пользователю более широкий спектр интерактивных услуг. Существующие к этому моменту средства в сетях доступа оказались либо неэффективными (ISDN с интерфейсом 2B+D и результирующей скоростью передачи 144 кбит/с), либо недоступными массовому пользователю (системы временного разделения типа E1/T1 с доступом по выделенным четырехпроводным линиям).

Сегодня эволюция сетей доступа идет по двум основным направлениям:

- развитие широкополосного (высокоскоростного) доступа, обеспечивающего службы передачи речи, данных и видео;
- уменьшение доли медных кабелей при организации местных сетей.

Построение сетей доступа нового типа является ключевой проблемой для большей части операторов, желающих удержать своих абонентов и увеличить доход от внедрения новых услуг. Подобные тенденции характерны как для стран, развитых в области телекоммуникаций, так и для развивающихся регионов.

Различные технологии доступа требуются и выбираются операторами в зависимости от инфраструктуры их сетей доступа (стандартный телефонный кабель или витая пара, коаксиальный кабель, волоконно-оптический кабель, гибридные структуры «волоконно-коаксиал», беспроводный доступ) и конкурентных условий. Можно ожидать, что с появлением новых технологий и новых операторов, обеспечивающих широкополосный доступ для определенных групп пользователей, ситуация в местных сетях будет существенно меняться.

Новые операторы будут конкурировать с традиционными операторами в предоставлении пользователю, по возможности, максимального набора услуг с использованием различных технологий доступа. Поэтому выбор наиболее подходящей технологии и способа построения сетей доступа становится определяющим с позиций эффективных затрат на строительство и эксплуатацию сетей, а также возможностей расширения списка услуг в будущем. Целью новых разработок является построение экономически эффективного абонентского сегмента, обеспечивающего, в то же время, доставку пользователю требуемого набора услуг.

Перечислим основные системы доступа, применяемые в абонентских сетях в настоящее время и планируемые операторами к применению в ближайшем будущем:

- системы, основанные на технологиях семейства xDSL (Digital Subscriber Line - цифровая абонентская линия);
- системы доступа с использованием специальных модемов в сетях KATB (Cable modems);
- комбинированные системы «волоконно/коаксиал» (Hybrid Fixed/Coax, HFC);
- оптоволоконные системы доступа;
- системы радиодоступа;
- спутниковые системы;

Среди новых решений назовем, в первую очередь, создание технологий доступа под общим названием xDSL, обеспечивающих на участке доступа скорости передачи до нескольких Мбит/с по витой паре без применения регенераторов. Это направление развивается традиционными операторами - владельцами местных телефонных сетей, построенных на базе стандартных медных телефонных кабелей.

Второе мощное направление в сетях доступа связано с использованием сетей кабельного телевидения (KATB) для обеспечения интерактивных широкополосных услуг. Особенно высокую активность проявляют здесь альтернативные операторы, использующие собственные сети KATB. Широкополосный доступ к Интернет-ресурсам обеспечивается путем применения кабельных модемов. В последние годы в сетях KATB на участке доступа начали применяться гибридные кабельные системы, в которых используются как коаксиальные, так и волоконно-оптические кабели.

Операторы КАТВ рассматривают сети, построенные на базе комбинации коаксиальных и волоконно-оптических кабелей, как эффективное решение проблемы доступа. Эти сети планируются для предоставления широкого спектра услуг, включая ТВ вещание, высокоскоростной доступ в Интернет, телефонию.

В многих странах (пока в ограниченных масштабах) на абонентском участке стали применяться только волоконно-оптические кабели (системы FTTH, Fiber-to-the-Home). Однако это решение, в основе которого лежит прокладка волокна к дому, является все еще достаточно дорогим и, видимо, не найдет широкого применения в ближайшие годы, за исключением подключения оборудования, расположенного в офисах больших компаний.

В тех случаях, когда строительство кабельных сетей доступа становится экономически неэффективным, все более широкое применение находят системы беспроводного абонентского доступа, базирующиеся на технологиях сотовых сетей, системах Wi-Fi (Wireless Fidelity) и WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access)

В некоторых странах, особенно в США, остаются популярными системы доступа, основанные на использовании арендованных (выделенных) линий с пропускной способностью, соответствующей полной или канализированной первичной группе (в США - тракты T1, в Европе - тракты E1).

Эволюция систем доступа иллюстрируется на Рис. 2.3. Далее рассматриваются основные особенности наиболее распространенных систем широкополосного абонентского доступа.

2.1.2. Широкополосный доступ с использованием технологий xDSL

Использование для широкополосного доступа обычной телефонной пары, соединяющей домашнюю телефонную розетку и местную АТС, является наиболее подходящим решением для операторов телефонных сетей общего пользования при предоставлении высокоскоростного доступа к удаленным информационным ресурсам. С середины 90-х гг. в сетях доступа на смену системам с временным разделением (E1/T1), а также доступу на базе ISDN приходит семейство технологий DSL.

Выбор определенной технологии зависит не только от показателей качества системы передачи, но и от привлекательности технического решения, в частности, от таких факторов, как соответствие стандартам или наиболее

популярным спецификациям, альянс компаний-производителей оборудования, поддержка технического обслуживания и др.

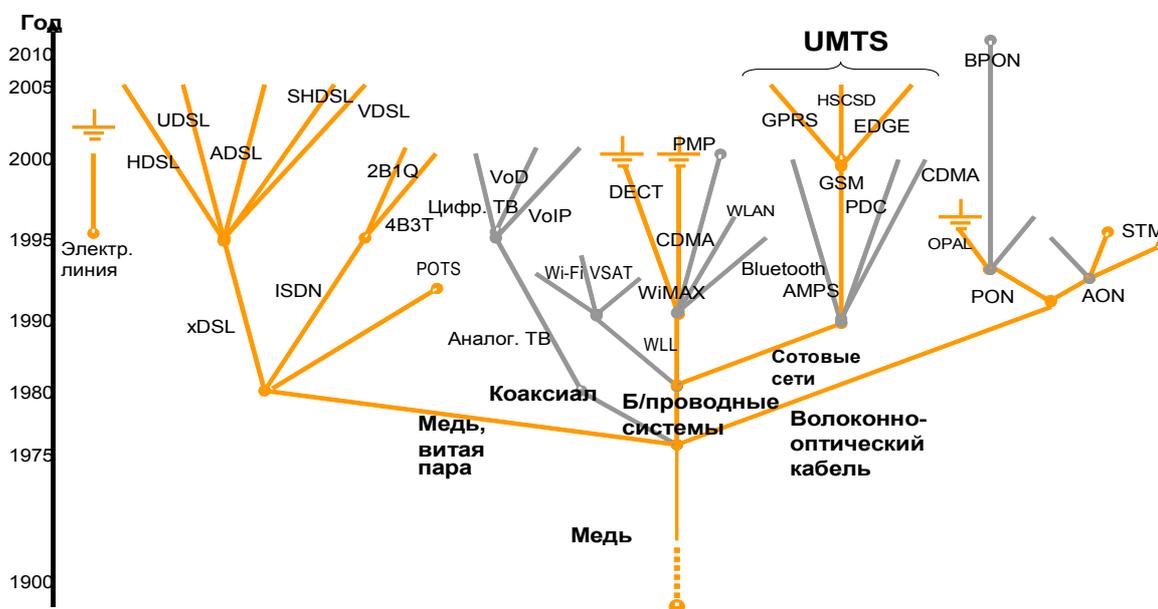


Рис. 2.3. Эволюция сетей доступа

Применение услуг на базе технологий xDSL считается наиболее оптимальным вариантом для высокоскоростного подключения домашних пользователей к сетям Интернет. В корпоративном секторе, среди бизнес-пользователей основными абонентами, использующими системы xDSL, станут небольшие компании, относящиеся к категории SOHO (Small Office/Home Office).

Хронологически первым представителем семейства систем xDSL на рынок вышли системы HDSL (High Bit Rate DSL - высокоскоростная цифровая абонентская линия), обеспечивающие скорости передачи T1/E1 (1,5/2 Мбит/с) по двум витым парам. При диаметре жилы 0,5 мм эти системы обеспечивали дальность связи до 5 км без установки дополнительных регенераторов. Первые системы HDSL, разработанные компанией Bellcore в начале 90-х гг., появились на рынке в середине десятилетия. Желание отказаться от использования второй витой пары привело к разработке в середине 90-х гг. систем,

обеспечивающих скорости 1,5 и 2 Мбит/с по одной паре (системы SDSL - Symmetrical DSL).

Однако реальный интерес к применению технологий DSL со стороны массового потребителя начался с внедрением систем ADSL (Asymmetrical DSL). Эти системы обеспечивают по одной витой паре скорости передачи от 384 кбит/с до 8 Мбит/с от станции к абоненту (в прямом направлении или «вниз») и от 128 кбит/с до 1,5 Мбит/с от абонента к телефонной станции («наверх» или в обратном направлении). Как уже было отмечено выше, такие системы при соответствующей стоимости могут быть достаточно привлекательными для абонентов квартирного сектора и небольших офисов.

Основной причиной повышения скорости на абонентском участке является требование эффективного доступа к ресурсам Интернет. Асимметричные характеристики скорости передачи при этом соответствуют характеру взаимодействия массового пользователя с Интернет, когда из сети к абоненту поступают значительно большие объемы информации, чем от пользователя в сеть.

Данные в системах ADSL передаются в диапазоне частот, расположенном выше полосы тонального канала, однако для разделения речевого сигнала и данных необходимо применять специальный разделительный фильтр (splitter), обеспечивающий одновременную передачу речевого сигнала и данных.

Для формирования линейного сигнала в аппаратуре ADSL применяются два типа модуляции - амплитудно-фазовая модуляция с подавлением несущей или дискретная многочастотная модуляция. Второй тип модуляции имеет более высокую помехоустойчивость, но характеризуется более сложной реализацией, т.е. увеличенной конечной стоимостью изделий.

Аппаратура VDSL (Very High Bit Rate DSL) является примером высокоскоростной технологии DSL. Эта аппаратура обеспечивает скорости передачи «вниз» от 10 Мбит/с до 50 Мбит/с при длине линии, соответственно 1,5 км и 300 м. Скорости передачи «вверх» при этом составляют от 1,5 до 2,3 Мбит/с. Это оборудование имеет хорошие перспективы при широком использовании волоконно-оптических кабелей в абонентских сетях при развертывании гибридной инфраструктуры FTTC (Fiber-to-the-Curb, волоконно-оптический кабель к шкафу) или FTTB (Fiber-to-the-Building, волоконно-оптический кабель к зданию).

Технологии xDSL, безусловно, являются привлекательными для операторов сетей общего пользования, по меньшей мере, в течение ближайших 10 лет.

Эти технологии будут популярны среди квартирных пользователей и небольших компаний. Пока здесь нет сильной конкуренции, поскольку развертывание проводится местными (как правило, традиционными) операторами, технология относительно доступна по стоимости и доказана возможность ее эффективного применения.

Определенная опасность конкуренции в сетях доступа для традиционных операторов существует со стороны операторов сетей кабельного телевидения, все более широко предлагающих услуги передачи данных с использованием кабельных модемов и проводящих реконструкцию своих сетей, внедряя на абонентских участках волоконно-оптические сегменты. Другой источник конкуренции – провайдеры, использующие в сетях доступа технологию Ethernet.

2.1.3. Широкополосный доступ в сетях кабельного телевидения

В последние годы наблюдается интенсивное развитие сетей КАТВ и рост числа услуг, предоставляемых в этих сетях. Рост масштабов сетей КАТВ в ряде стран, в первую очередь в США, связан с новыми принципами регулирования в электросвязи, в соответствии с которыми операторы КАТВ, помимо распределения ТВ программ, могут предоставлять широкий спектр услуг, включая телефонию, доступ в Интернет, услуги интерактивного ТВ и др.

Доступ в Интернет, предоставляемый операторами в сетях КАТВ, является ключевым фактором внедрения кабельных модемов. Используемые для этих целей кабельные модемы по своим характеристикам превосходят системы ADSL, обеспечивая на абонентском участке скорости передачи до 3 Мбит/с в симметричных конфигурациях и до 40 Мбит/с в прямом и до 10 Мбит/с в обратном направлениях в асимметричных конфигурациях. Кроме того, кабельные модемы могут быть также применены для передачи речи через Интернет (Voice over IP, VoIP).

Новые возможности широкополосного доступа открываются перед операторами сетей КАТВ при эволюции сети на базе коаксиального кабеля к гибридной инфраструктуре абонентского доступа типа HFC с применением коаксиального и волоконно-оптического кабелей.

Учитывая масштабы сетей KATV, можно ожидать, что в крупных городах будет иметь место конкуренция между оборудованием xDSL и кабельными модемами, и выбор пользователей будет определяться стоимостью услуги. Несмотря на то, что технология xDSL продвигается на рынок традиционными операторами, владеющими мощными местными сетями, темпы развертывания оборудования ADSL остаются невысокими по сравнению с кабельными модемами.

В последние годы рассматривается также возможность построения абонентского участка полностью на волоконно-оптическом кабеле (инфраструктура FTTH). В то же время для квартирных пользователей операторы (как правило, альтернативные) начинают развертывание беспроводных широкополосных абонентских сетей, обеспечивающих интерактивный режим обмена широкополосной информацией.

2.1.4. Широкополосный беспроводный доступ

Как уже было отмечено выше, при низкой экономической эффективности строительства проводных абонентских сетей доступа все более популярными становятся решения на основе использования беспроводных технологий, таких, как Wi-Fi и WiMAX.

A. Системы Wi-Fi

Стандарт Wi-Fi был создан в 1991 г и описан в спецификациях IEEE 802.11. Стандарт обеспечивает скорость передачи данных до 11 Мбит/с. Обычно схема сети Wi-Fi содержит не менее одной точки доступа и не менее одного клиента. Также возможно подключение двух клиентов в режиме точка-точка, когда точка доступа не используется, а клиенты соединяются посредством сетевых адаптеров «напрямую». Точка доступа передает свой идентификатор сети (SSID) с помощью специальных сигнальных пакетов на скорости 0,1 Мбит/с каждые 100 мс. Зная идентификатор SSID, клиент может выяснить, возможно ли подключение к данной точке доступа. При попадании в зону действия двух точек доступа с идентичными SSID приемник может выбирать между ними на основании данных об уровне сигнала. Стандарт Wi-Fi даёт клиенту полную свободу при выборе критериев для соединения и роуминга.

Основным достоинством технологии по сравнению с проводными технологиями является то, что Wi-Fi позволяет развернуть сеть без прокладки кабеля. Это ведет к уменьшению стоимости развертывания и расширения сети. Места, где нельзя проложить кабель, например, вне помещений и в зданиях, имеющих историческую ценность, могут обслуживаться беспроводными сетями. Еще одно достоинство технологии – сети Wi-Fi поддерживают роуминг, поэтому клиентская станция может перемещаться в пространстве, переходя от одной точки доступа к другой.

К недостаткам технологии относится, прежде всего, ограниченный радиус действия. Типичный домашний маршрутизатор Wi-Fi стандарта 802.11b или 802.11g имеет радиус действия 45 м в помещении и 90 м снаружи. Расстояние зависит также от частоты. Система Wi-Fi в диапазоне 2.4 ГГц имеет радиус покрытия больше, чем система Wi-Fi в диапазоне 5 ГГц, и меньше, чем Wi-Fi на частоте 900 МГц. В заключение отметим, что стандарт Wi-Fi рассматривается как беспроводный аналог технологий для проводных локальных сетей

Б. Системы WiMAX

Технология WiMAX разработана с целью предоставления универсальной беспроводной связи на относительно больших расстояниях для широкого спектра устройств (от рабочих станций и портативных компьютеров до мобильных телефонов). Технология базируется на стандартах IEEE 802.16. Технология WiMAX сегодня рассматривается как технология, предоставляющая высокоскоростной беспроводной доступ, альтернативный выделенным линиям и технологии DSL. Технология WiMAX применяется при решении следующих задач:

- соединение точек доступа Wi-Fi друг с другом и другими сегментами Интернета;
- обеспечение беспроводного широкополосного доступа как альтернативы выделенным линиям и DSL;
- предоставление высокоскоростных сервисов передачи данных и телекоммуникационных услуг.
- создание точек доступа, не привязанных к географическому положению.

В стандартах IEEE 802.16 определены несколько режимов работы сетей WiMAX, основными из которых являются фиксированный и мобильный доступ. Структура сетей семейства стандартов IEEE 802.16 аналогична структуре сетей GSM. Базовые станции действуют на расстояниях до десятков километров. Для их установки допускается монтаж на крышах домов при соблюдении прямой видимости между станциями.

Технология WiMAX позволяет осуществлять доступ в Интернет на высоких скоростях, с гораздо большей пропускной способностью и покрытием, чем в сетях Wi-Fi. Эти свойства позволяют использовать технологию WiMAX для организации магистральной сети в масштабах города. В идеальных условиях скорость обмена данными может достигать 70 Мбит/с, при этом не требуется обеспечения прямой видимости между базовой станцией и приемником.

2.2. Эволюция систем передачи

Анализ развития систем передачи, составляющих транспортную основу магистральных сетей, показывает, что за прошедшие более, чем 100 лет эти системы последовательно эволюционировали в область все более высоких скоростей передачи, становились более надежными, более простыми в эксплуатации, управлении и обеспечении необходимой пропускной способности. На Рис. 2.4 представлены основные этапы эволюции систем передачи. В начале 20-го века в качестве основной направляющей среды применялись медные кабели на основе витой пары, аналоговые системы передачи использовали принцип частотной модуляции (ЧМ).

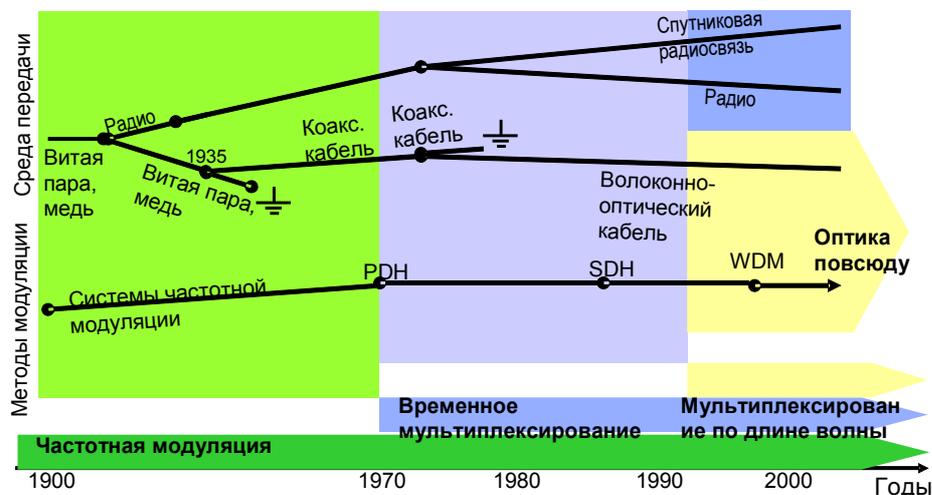


Рис. 2.4. Эволюция систем передачи

2.2.1. Аналоговые системы передачи

Первая трансконтинентальная телефонная линия на территории США была открыта для эксплуатации в 1915 г., когда был сделан первый вызов через аналоговую систему из Нью-Йорка в Сан-Франциско по медному кабелю с использованием усилителей. Начиная с этого момента, пропускная способность систем передачи росла, а стоимость передачи информации падала. В 1936 г. была построена первая в мире линия дальней связи на коаксиальном кабеле, позволявшая мультиплексировать множество аналоговых телефонных каналов. В 1947 г. была построена первая радиорелейная линия, и это означало появление менее дорогой альтернативы линиям дальней связи на кабелях. Первый спутник связи, запущенный в 1962 г., обеспечивал более дешевую трансокеанскую связь, чем при использовании подводных кабельных линий на меди.

Вместе с тем, ясно, что волоконно-оптические кабели являются единственной альтернативой остальным видам направляющих сред при необходимости передачи на большие расстояния с высокими скоростями. Однако только относительно недавно, в начале 80-х гг. первые магистрали на волоконно-оптических кабелях позволили получить значительно большие пропускные способности при приемлемых расстояниях между регенераторами. По времени это совпало с одним из главных, узловых моментов развития

телекоммуникаций за последние тридцать пять лет – широким применением цифровых систем передачи, переход к которым от аналоговых систем начался еще в 60-х гг. 20-го столетия.

2.2.2. Цифровые системы передачи

В 70-х гг. аналоговые системы передачи, использовавшие принцип частотного разделения каналов, были заменены системами плезиохронной цифровой иерархии (ПЦИ, Plesiochronous Digital Hierarchy, PDH) с временным разделением каналов (ВРК). Базовым каналом в иерархии цифровых систем PDH являлся основной цифровой канал со скоростью 64 кбит/с, цифровой эквивалент канала тональной частоты в аналоговых системах передачи. Переход к цифровым системам передачи и замена медных кабелей на волоконно-оптические сопровождалась увеличением пропускной способности и существенным улучшением эксплуатационных характеристик систем передачи.

На смену плезиохронным цифровым системам пришли системы синхронной цифровой иерархии (СЦИ, Synchronous Digital Hierarchy, SDH) со скоростями передачи, равными сотням и тысячам Мбит/с. Эти системы, также использующие принцип ВРК, были рассчитаны на широкое применение волоконно-оптических кабелей. Возможные конфигурации магистральных цифровых сетей при использовании волоконно-оптических кабелей были расширены путем применения кольцевых сегментов, что привело к повышению надежности, увеличению типов возможных сетевых топологий и увеличению гибкости в распределении ресурсов.

Первые стандарты по системам синхронной цифровой иерархии, получившим название SONET (Synchronous Optical Networks), были разработаны Американским национальным институтом стандартов (ANSI); стандарты по аналогичным системам SDH (Европейская версия) были приняты Международным Союзом Электросвязи (МСЭ) в конце 80-х гг. Обе группы стандартов были практически идентичны, за исключением терминологии. Появление новых систем привело к реконструкции существующих сетей и развитию новой инфраструктуры транспортных сетей на базе стандартов SONET/SDH.

2.2.3. Системы с мультиплексированием по длине волны (WDM)

Основные направления реконструкции транспортных сетей сегодня связаны с введением технологии разделения сетевых ресурсов (мультиплексирования) по длине волны (Wave Division Multiplexing, WDM), которая обеспечивает мультиплексирование множества длин волн в одном волокне. Системы WDM и более совершенные системы Dense WDM (DWDM) увеличивают пропускную способность волоконно-оптического кабеля путем распределения входящих оптических сигналов, отвечающих стандартам SDH/SONET (например, несколько потоков STM-16/64), по определенным длинам волн и последующего мультиплексирования этих сигналов в виде единого цифрового потока в одном волокне.

Сигнал, мультиплексируемый в системе DWDM, переносится в оптической форме без промежуточных оптико-электрических преобразований от точки мультиплексирования до точки демультиплексирования. Системы DWDM являются типичными канальными устройствами, не влияющими на структуру мультиплексируемых сигналов, т.е. обладают свойствами прозрачности. Это позволяет сетевому оператору легко интегрировать системы DWDM с существующим сетевым оборудованием, одновременно значительно увеличивая пропускную способность кабелей. Поставляемые на рынок системы DWDM позволяют получить пропускную способность на одном волокне до нескольких Терабит/с, что соответствует пропускной способности сотен систем STM-64.

Распространение оптических систем во все сегменты сети. Начиная с момента коммерческого применения (начало 80-х гг. 20-го века), системы передачи на базе оптических компонентов широко использовались для построения магистральных сетей – национальных, континентальных, глобальных. Однако, в настоящее время оптические транспортные системы становятся основой региональных сетей и городских сетей в мегаполисах и крупных городах, где можно видеть все большее число волоконно-оптических сетей, чья пропускная способность активно используется абонентами квартирного и делового секторов. В настоящее время наблюдается все более широкое применение систем на базе волоконно-оптических кабелей в сетях доступа, однако, для полного перехода на оптику в сетях доступа потребуется достаточно большой срок (см. Рис. 2.5).

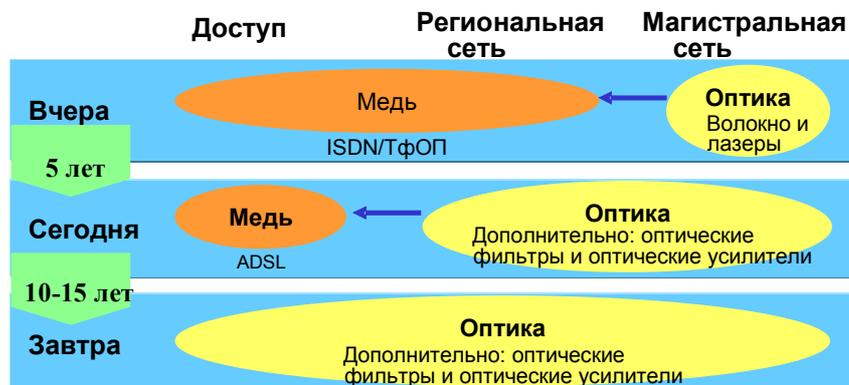


Рис. 2.5. Эволюция оптических систем - от магистральной сети к сети доступа

2.3. Технологии коммутации и маршрутизации

Сегодня сетевые операторы рассматривают возможности применения в магистральных сегментах различных сетевых технологий доставки информации, под которыми мы будем понимать в дальнейшем методы коммутации и маршрутизации. Наряду с классическими методами коммутации каналов (телефонные сети общего пользования) и пакетов (протокол X.25 в сетях передачи данных общего пользования), широко используются методы коммутации кадров (Frame Relay), коммутации ячеек (ATM) и методы коммутации пакетов, базирующиеся на IP-ориентированных протоколах.

Появление большого числа новых приложений, связанных, в первую очередь, с передачей мультимедийного трафика, ведет к необходимости выбора наиболее эффективных или оптимальных сетевых технологий доставки. Как уже было отмечено выше, наблюдается очевидный сдвиг от систем коммутации каналов к системам с коммутацией пакетов, от систем, ориентированных на соединения, к системам, не ориентированным на соединения. Вместе с тем, в рамках этих процессов одни технологии, популярные еще несколько лет назад, постепенно уходят с рынка, тогда как другие начинают распространяться с неожиданно высокой скоростью.

В этом разделе рассматриваются принципы технологий ATM и IP и определяются возможные сегменты их применения в широкополосных сетях будущего.

2.3.1. Технология ATM

А. Исторический обзор и основные свойства технологии ATM

Идеи перехода от отдельных сетей для различных типов трафика к единой сети, в которой передавались бы все виды информации, начали развиваться еще в 60 г.г.

Однако относительно низкий технологический уровень телекоммуникационных систем и сетей и отсутствие соответствующей элементной базы не позволили перейти к реализации таких сетей в течение более чем 30 лет. В 70-е и 80-е г.г. начался значительный прогресс в микроэлектронике и программном обеспечении, сопровождаемый построением сетей связи с высокой пропускной способностью на базе волоконно-оптических систем. Успехи именно в этих направлениях позволили вплотную подойти к реализации идеи создания единой сети связи для всех типов трафика.

В начале 80-х гг. в ряде мировых исследовательских центров (СМЕТ, Франция, Bell Labs., США) начались работы по созданию сетей общего пользования нового типа - широкополосных цифровых сетей интегрального обслуживания (ШЦСИО, В-ISDN, Broadband Integrated Services Digital Networks). Концепция ШЦСИО предполагает что оператор предоставляет пользователю весь возможный набор узкополосных и широкополосных услуг в рамках одной сети на базе единого метода распределения информации.

В классических территориально распределенных сетях связи в течение длительного периода использовались три метода распределения информации - коммутация каналов, коммутация сообщений и коммутация пакетов. Достоинства и недостатки каждого из перечисленных методов хорошо известны и могут быть описаны несколькими характеристиками – задержками и потерями, возникающими при доставке информации, и уровнем использования сетевых ресурсов.

Выбор метода распределения информации в классических сетях связи определяется, главным образом, исходя из типа передаваемого трафика. Телефонные сети базируются на коммутации каналов, в телеграфных сетях общего пользования применяется коммутация сообщений и, наконец, в сетях

передачи 'данных основным методом распределения информации является коммутация пакетов.

Одной из основных проблем, с которой столкнулись разработчики концепции ШЦСИО, была проблема выбора единого метода доставки и распределения информации. В первых рекомендациях МСЭ, в которых описывалась концепция ШЦСИО (1988 г.), в качестве такого единого метода распределения информации был предложен метод асинхронной доставки информации, основанный на технологии АТМ. Технология АТМ представляет собой разновидность метода коммутации пакетов и рассматривается как набор протоколов для применений, ориентированных на соединения с гарантированным качеством обслуживания, означающим выделение необходимой полосы пропускания и обеспечение минимальных задержек.

Перечислим основные свойства метода АТМ:

- исходное сообщение после представления в цифровой форме и перед передачей в сеть связи разделяется на протокольные блоки фиксированной длины, равной 48 байтам;
- каждый протокольный блок дополняется служебной частью - заголовком размером 5 байт, образуя ячейку АТМ размером 53 байта: заголовок содержит адресную часть, элементы защиты заголовка от ошибок и другую служебную информацию, необходимую для гарантированной доставки ячеек через сеть;
- последовательность ячеек АТМ, принадлежащих одному сообщению, передается через виртуальные соединения (постоянные или коммутируемые), поддерживаемые коммутаторами АТМ, в которых обрабатываются только заголовки ячеек;
- при прохождении ячеек через коммутатор АТМ ячейки накапливаются в промежуточных буферах коммутатора, что обеспечивает возможность статистического использования сетевых ресурсов;
- обработка ячеек в коммутаторе АТМ (анализ адреса, защита от ошибок, управление потоком ячеек) осуществляется на втором уровне эталонной модели OSI;
- на стороне адресата ячейки АТМ освобождаются от заголовков и собираются в единую последовательность, из которой затем формируется исходное сообщение.

Сети ШЦСИО, построенные на базе технологии АТМ, обеспечивают следующие возможности:

- доставку всех видов информации (речь, данные, музыку, подвижные, неподвижные, цветные и черно-белые изображения, информацию мультимедиа) с высокими показателями качества обслуживания;
- поддержку интерактивных (диалоговых) служб и служб распределения информации (с управлением и без управления со стороны пользователя);
- статистическое распределение сетевых ресурсов в соответствии с требованиями пользователей (гарантированная полоса пропускания), что обеспечивает эффективную передачу как непрерывного, так и пачечного трафика, а также экономический выигрыш при замене арендованных линий.

Технология АТМ была выбрана в качестве базовой для построения ШЦСИО - единой цифровой сети, поддерживающей как узкополосные, так и широкополосные услуги. Иными словами, технология АТМ должна обеспечивать функционирование сетей с достаточно высокими пропускными способностями, находящимися в диапазоне десятков-сотен Гбит/с (в настоящее время диапазон требуемых пропускных способностей расширен до значений несколько Тбит/с).

В терминах основных характеристик сети это означает, что межконцевые задержки в территориально распределенных сетях должны составлять единицы мс и время обработки протокольных блоков в коммутаторах - десятки и сотни мс. Соответственно, производительность узлов коммутации АТМ должна определяться цифрами порядка десятков-сотен миллионов протокольных блоков (ячеек) в секунду.

Реализация подобных характеристик стала возможна только в начале 90-х гг., благодаря прогрессу в микроэлектронике и волоконно-оптических системах связи. Волоконно-оптические системы связи обеспечивают высокий уровень достоверности передаваемой информации. Вероятность ошибок в современных системах передачи может достигать 10^{-10} - 10^{-11} , что позволяет значительно уменьшить объем операций (и, следовательно, временные затраты) по защите от ошибок. Как известно, именно эти операции, применяемые в традиционных сетях с коммутацией пакетов, являются одним из источников существенных задержек.

Кроме того, в классических системах с коммутацией пакетов (например, на базе протокола X.25) обработка пакетов базируется на использовании программных средств и, следовательно, ведет к существенной загрузке основного процессора коммутатора, а также к значительным временным задержкам. Успех в области создания заказных высокопроизводительных микросхем с большой степенью интеграции позволяет создать коммутаторы ATM, в которых основная часть операций по обработке ячеек выполняется с помощью распределенных микропроцессорных сетей.

Реализация таких операций, как анализ адресной части, обнаружение ошибок, сборка и разборка протокольных блоков, производится в коммутаторах ATM на аппаратном уровне, что обеспечивает пропускную способность сетевых узлов в десятки и сотни Гбит/с.

При появлении первых сетей ATM (конец 80-х, начало 90-х г.г.) возможности нового метода были сильно преувеличены. Энтузиасты ATM предполагали, что в недалеком будущем технология ATM станет универсальной и будет применяться в локальных, кампусных, региональных и территориально распределенных сетях для обеспечения большого числа приложений, начиная от телефонии и кончая будущими мультимедийными услугами. Высказывались также предположения о возможности доведения ATM до настольных систем.

Однако с течением времени энтузиазм относительно ATM в стремительно меняющемся телекоммуникационном мире значительно уменьшился. Темпы развития систем ATM оказались существенно более медленными, чем ожидалось. Технология ATM так и не стала универсальным методом транспортировки информации. Среди причин этого можно отметить как сложность и относительно высокую стоимость реализации и эксплуатации сетей ATM, так и появление конкурирующих технологий (IP, Ethernet и др.), ограничивающих возможности широкого применения ATM.

Достоинства и недостатки технологии ATM сегодня хорошо известны. Если необходимо на основе статистического уплотнения обеспечить гарантированное качество обслуживания и эффективное использование сетевых ресурсов, очевидно, что одним из возможных решений для операторов территориально распределенных сетей в настоящее время является технология ATM. Вместе с тем, стоимость и сложность оборудования ATM остаются достаточно высокими, ограничивая широкомасштабные применения

технологии ATM во всех сетевых сегментах. Можно считать, что технология ATM прошла этапы рождения, больших надежд и гиперболизации своих возможностей, депрессии и вышла на этап зрелости.

Б. Перспективные сегменты рынка для технологии ATM

Мультисервисные сети ATM. В течение определенного периода времени технология ATM будет сохранять ведущую роль как транспортная технология в магистральных сегментах территориально распределенных сетей для переноса бизнес-трафика, формируемого в кампусных, локальных и учрежденческих телефонных сетях. Основным требованием в таких сетях (частных или общего пользования) является обеспечение мультисервисных возможностей.

Мультисервисные сети на базе ATM являются сегодня наиболее экономически эффективным решением для построения крупномасштабных корпоративных сетей. Мультисервисные сети ATM предназначены для замены существующих базовых сетей передачи данных с различными протоколами (X.25, Frame Relay) единой широкополосной сетью. Мультисервисная сеть должна обеспечивать также передачу речевого трафика и видео. Функции адаптации протоколов и преобразование их в протоколы ATM обеспечиваются в пограничных узлах (узлах доступа) мультисервисной сети ATM.

Выигрыш при построении мультисервисных сетей на базе технологии ATM определяется несколькими факторами.

- Пачечная природа трафика, характерная для сетей передачи данных, позволяет операторам сетей ATM эффективно разделять пропускные способности магистральных линий среди пользователей и, соответственно, увеличивать число пользователей.
- Возможность технологии ATM предоставлять пропускную способность по требованию (концепция гибкой полосы пропускания) приводит к уменьшению стоимости передачи информации. При аренде выделенных линий пользователь должен платить за весь ресурс арендованной линии независимо от того, какая реальная пропускная способность ему требуется. При использовании ATM абонент может установить скорость доступа в соответствии с его требованиями и характеристиками трафика, определив при этом также и время использования ресурса, поскольку пользователь платит только за действительно используемую пропускную способность, а не за арендованный тракт с фиксированной полосой пропускания.

- Применение технологии ATM, обеспечивающей гарантированное качество обслуживания, ведет к уменьшению числа выделенных линий, широко применяемых сегодня в корпоративных сетях. Эти факторы могут сыграть важную роль в стратегии компаний и крупных операторов при определении путей развития их сетей.

Таким образом, сегодня существует определенная ниша для применения технологии ATM в качестве базовой при построении мультисервисных сетей. Однако необходимо учитывать, что построение мультисервисной сети ATM может быть экономически оправданным для компаний, использующих в базовых сетях, главным образом, выделенные линии и технологию Frame Relay. Возможности использования ATM для построения единой мультисервисной сети могут быть существенно ограничены в будущем рядом факторов, среди которых отметим следующие.

Во-первых, уже сегодня наблюдается существенное падение стоимости аренды выделенных линий в связи со взрывным ростом доступных пропускных способностей магистралей, благодаря технологиям SDH и DWDM. Во-вторых, очевидна тенденция миграции сетей в сторону все более широкого применения технологии IP как единой технологии для большинства услуг, включая передачу речи (Voice over IP, VoIP) и видеоинформации.

Прогресс протоколов Интернет, связанный, в основном, с возможностью обеспечения гарантированных показателей качества обслуживания, может привести к тому, что мультисервисные возможности ATM не смогут составить конкуренцию применению протоколов Интернет в качестве единой технологии в магистральных сетях. Уже сегодня применение IP и связанных протоколов для построения виртуальных частных сетей (VPN) обеспечивает более привлекательные решения по сравнению с традиционными сетями передачи данных и арендой выделенных линий и представляет серьезную конкуренцию технологии ATM в сетях небольших и средних компаний. Однако процесс перехода к широкому применению технологии IP длится уже более 10 лет и это означает, что рынок для ATM все еще остается открытым.

ATM в сетях мобильной связи. Технология ATM с передачей коротких ячеек может оказаться достаточно перспективной для третьего поколения мобильных сетей, в которых будет активно применяться компрессия речевых сигналов. В настоящее время рассматриваются возможности применения

технологии ATM в системах UMTS (Universal Mobile Telecommunications Systems).

В частности, в спецификациях UMTS рекомендуется использовать уровень адаптации AAL2 ATM для компрессии речи, передаваемой в сетях третьего поколения. Технология ATM с уровнем AAL2 будет применяться в качестве транспортной технологии в базовых станциях и контроллерах базовых станций. Кроме транспортировки ячеек, ATM будет обеспечивать коммутацию индивидуальных речевых каналов. Мобильные службы, обеспечивающие передачу данных, также могут использовать узлы ATM в качестве шлюзов к сетям IP. Вместе с тем, рынок для построения сетей подвижной связи с применением технологии ATM/AAL2 должен быть подвергнут тщательной экономической оценке для определения его возможных перспектив.

2.3.2. Технология Интернет и ее эволюция

А. Исторический очерк и введение в Интернет

2 сентября 1969 г. в США был введен в эксплуатацию первый узел компьютерной сети ARPANET (Advances Research Project Agency), разработанной по заказу Агентства перспективных исследований национального Министерства обороны. Сеть ARPANET на начальном этапе являлась экспериментальной компьютерной сетью, построенной с целью обеспечения доступа к удаленным вычислительным и информационным ресурсам.

Сеть ARPANET была спроектирована как высоконадежная система, характеризующаяся весьма высоким уровнем децентрализации и способная нормально функционировать в условиях множественных отказов каналов и узлов, возникших, к примеру, в результате ядерного удара по территории США.

В сети ARPANET транспортировка данных между компьютерами осуществлялась методом коммутации пакетов, получившим название метода датаграмм. Метод датаграмм разработал в середине 60-х гг. П. Бэрэн (Paul Baran). Директор проекта ARPANET Л. Робертс применил идеи П. Бэрэна и результаты моделирования территориально распределенных компьютерных сетей, выполненных Л. Клейнроком, при создании сети ARPANET.

Процедуры транспортировки пакетов между узлами сети ARPANET определялись протоколом Internet Protocol (IP) - протоколом 3-го (сетевого) уровня. В 1974 г. в статье В. Серфа и Б. Кана, посвященной протоколу

транспортного уровня (Transmission Control Protocol, TCP), впервые был использован термин Internet. В следующем году группа В. Серфа и Б. Кана разработала спецификации стека протоколов TCP/IP.

Таким образом, день 2 сентября 1969 г. можно считать днем рождения и днем начала истории технологии IP и сетей Интернет. Стартовавшая как ARPANET, сеть Интернет на протяжении 70-х и начала 80-х гг. использовалась преимущественно американским правительством, а также академическими и исследовательскими организациями как в США, так и в других странах (главным образом, в европейских). Однако как часть телекоммуникационной инфраструктуры Интернет все еще оставался в относительно узкой нише приложений, будучи практически невостребованной в среде операторов общего пользования. Эта ситуация сохранялась до середины 90-х г.г., когда появились первые дружественные к пользователю приложения (системы поиска информации, гипертекстовый язык HTML), недорогие модемы для подключения массового пользователя к сетям и высокоскоростные магистрали, способные пропускать трафик со скоростями несколько сот Мбит/с.

В середине 1995 г. на рынке появилась операционная система Windows 95 с интегрированным стеком TCP/IP и услуги Интернет стали доступны многим миллионам пользователей. Широкое распространение IP-технологии в 90-е гг. определялось рядом ключевых свойств, которые были заложены в сетях Интернет еще на начальных этапах разработки. Отметим среди этих свойств наиболее существенные.

- **Универсальность.** Протоколы семейства IP сегодня используются во всех сетевых сегментах, начиная от локальных и кампусных сетей и кончая магистральными сетями. Технология IP используется для передачи данных, речи и видеоинформации. На базе IP-ориентированных протоколов строятся как фиксированные, так и беспроводные сети. Используемый вначале в корпоративных сетях, стек TCP/IP начинает все более широко применяться в сетях общего пользования.
- **Масштабируемость.** Крупномасштабные сети должны иметь возможность легко развиваться. Масштабируемость сетей на базе IP была одним из основных свойств, заложенных разработчиками сети ARPANET, поскольку с самого начала была поставлена задача создания протокола, позволяющего объединять большое число сетей.

Цифры, характеризующие современные масштабы Интернет (число сетей, поддерживающих протоколы TCP/IP, число узлов, число пользователей) и темпы развития Интернет, подтверждают высокую степень масштабируемости Интернет, что является предпосылкой к созданию глобальной сети.

- **Открытость.** Сеть Интернет базируется на принципе открытых систем. Это означает, что в сети при выполнении очень небольшого числа правил, определяющих структуру протоколов и интерфейсов, могут взаимодействовать разнотипные аппаратные и программные средства. Правила присоединения сетей с любыми протоколами к сетям IP относительно просты и реализуются на базе шлюзов, обеспечивающих согласование протоколов. Сеть может рассматриваться как сеть Интернет, если в ней реализован стек TCP/IP и в сети используется уникальное адресное пространство Интернет. Протокол IP обеспечивает взаимодействие сетей с различными транспортными технологиями. Наконец, спецификации протоколов Интернет, разрабатываемые IETF (Internet Engineering Task Force - Проблемной группой проектирования Интернет), легко доступны на большом количестве сайтов в сети Интернет, что выгодно отличает эти документы от документов других международных организаций, работающих в области стандартизации электросвязи.

Документы, описывающие услуги Интернет, спецификации протоколов и условия их применения, публикуются организацией IAB (Internet Activities Board) под общим названием RFC (Request for Comments) и доступны в Интернет.

Развитие мировой сети Интернет в 90-х гг. является прямым результатом прогресса программного обеспечения, микроэлектроники и высокопроизводительных систем связи, а также изменениями в телекоммуникационном законодательстве и регулировании. Рост масштабов сети Интернет настолько впечатляет, что среди сетевых операторов, разработчиков оборудования, сервис-провайдеров и даже пользователей постепенно формируется мнение о возможности преобразования сети Интернет в некую универсальную сеть, обеспечивающую все виды услуг.

Вместе с тем, необходимо отметить, что простота базовых протоколов приводит, в первую очередь, к невозможности обеспечить гарантированное качество обслуживания. В течение первых 25 лет в развитии сетей Интернет

преобладал элемент анархии, который энтузиасты сети ошибочно трактуют как проявление демократии в телекоммуникациях. Очевидно, что анархичная природа Интернет будет постепенно отмирать в ответ на требования пользователей, желающих получать услуги с гарантированными показателями качества обслуживания. Можно ожидать, что в ближайшем будущем Интернет сохранит и даже усилит свои позиции в качестве высокоэффективной информационной инфраструктуры, однако этот процесс связан с необходимостью усовершенствования имеющихся и создания новых, более эффективных протоколов доставки информации.

Б. Ключевые факторы эволюции сетей Интернет

Можно выделить четыре основных ключевых фактора развития сети Интернет как глобальной сетевой инфраструктуры: новые технологии, требования рынка, рост конкуренции и изменения в законодательстве и регулировании.

- **Новые технологии.** Более высокие скорости, более гибкие сети, более дешевые системы связи, более мощные вычислительные устройства, усовершенствованные механизмы и протоколы быстро расширяют функциональные возможности Интернет.
- **Требования рынка.** Рост числа пользователей, увеличение степени проникновения Интернет, требования увеличения набора специализированных приложений определяют высокие скорости появления на рынке новых устройств, программных продуктов и услуг Интернет,
- **Рост конкуренции.** Простота доступа к услугам сети и потенциальные возможности для бизнеса ведут к нарастанию конкуренции среди производителей оборудования и программных продуктов, провайдеров услуг, создателей содержания.
- **Законодательство и регулирование.** Появление новых игроков на информационно-коммуникационном пространстве (создатели содержания, поставщики услуг и др.) определяет необходимость создания новых регулирующих документов, содержащих как технико-экономические, так и правовые аспекты. Эти документы играют важную роль в развитии Интернет, однако разработчики соответствующих спецификаций не способны поддержать высокие темпы развития

Интернет, что приводит к отставанию законодательной базы и соответствующим проблемам в области регулирования.

Ниже мы сфокусируем наше внимание только на вопросах, связанных с эволюцией технологий Интернет, движущими силами которой являются усовершенствование и создание новых механизмов IP-ориентированных протоколов.

В. Проблемы использования технологии Интернет как базы для построения мультисервисной сети

Современная сеть Интернет предоставляет конечным пользователям эффективные средства для обмена различными типами трафика. Интернет поддерживает национальные и международные службы передачи данных в масштабах, сопоставимых с масштабами крупных сетевых операторов. В середине 90-х гг. появились первые продукты IP-телефонии и программно-аппаратные средства, обеспечивающие возможность применения Интернет в приложениях, связанных с транспортировкой и обработкой видеoinформации.

В связи с широким распространением сетей и технологии Интернет мировое телекоммуникационное сообщество приходит к выводу, что всемирная сеть Интернет может быть использована в качестве глобальной инфраструктуры. Одной из популярных моделей перехода сетей к единой сети, построенной на базе Интернет, стала в последние годы модель так называемых сервисных волн. Первую волну связывают с развитием доступа к Интернет с помощью набора, вторая волна определяется внедрением систем передачи речи через IP-сети. Третья волна предполагает развертывание более сложных услуг, конвергирующих передачу речи и данных на базе IP. Наконец, последняя на обозримом временном интервале сервисная волна будет определяться созданием мультисервисных сетей, полностью построенных на технологии Интернет и обеспечивающих весь спектр фиксированных и мобильных услуг.

Однако описанный выше сценарий эволюции сетей к единой мультисервисной сети на базе Интернет может быть реализован только при обеспечении необходимых показателей по пропускной способности, качеству обслуживания, защите информации от несанкционированного доступа и других характеристик функционирования, во многом определяемых базовым протокольным стеком. Как показывает опыт эксплуатации сетей Интернет,

именно классические IP-ориентированные протоколы являются сдерживающим фактором на пути построения единой сети Интернет.

Выше было отмечено, что исходный стек протоколов TCP/IP, используемый как базовый в сетях Интернет до середины 90-х гг., успешно обеспечивал работу служб с относительно невысокими требованиями к показателям качества обслуживания - электронной почты, передачи файлов, взаимодействия с удаленными базами данных. Перечисленные приложения характеризовались низкой чувствительностью к задержкам и небольшими значениями требуемой пропускной способности (десятки, максимум, сотни кбит/с для одного сеанса). Эти требования были хорошо согласованы с возможностями метода коммутации пакетов в датаграммном режиме, определяемом протоколом IP.

Эксплуатация сетей Интернет в течение сорока лет помогла определить слабые места в архитектуре протоколов стека TCP/IP, включая IP-ориентированные протоколы, разработанные в 70-80-х гг.

Рост объемов трафика Интернет, появление новых приложений, в первую очередь связанных с транспортировкой трафика реального времени, определяют новые требования к пропускной способности, показателям качества обслуживания, к безопасности информации. Весьма серьезной проблемой, обусловленной ростом размеров сети, оказалась и проблема ограниченности адресного пространства.

Пропускная способность. Одна из проблем традиционных сетей IP - недостаток суммарной производительности глобальной сети, начал существенно проявляться в 90-х гг. Цифры, характеризующие развитие сетей IP в этот период, - рост числа узлов, количества пользователей и объема трафика - свидетельствуют об экспоненциальном характере увеличения масштабов сети. В предыдущих разделах рассматривались возможности новых технологий, существенно повышающих скорости передачи информации во всех сегментах сети. В магистральных сетях рассматриваются технологии SDH/SONET и DWDM, использующие оптическую среду и обеспечивающие пропускные способности от сотен Мбит/с до десятков Тбит/с.

Для сетей доступа в последние годы были разработаны технологии со скоростями передачи от сотен кбит/с до десятков Мбит/с. В локальных и региональных сетях начали широко применяться технологии, обеспечивающие скорости от сотен Мбит/с до десятков Гбит/с.

Повышение пропускных способностей систем передачи определяет необходимость соответствующего увеличения быстродействия сетевых узлов в IP-сетях. Вместо маршрутизаторов с невысоким быстродействием (по сравнению с аналогичными коммутаторами АТМ), в которых обработка пакетов велась преимущественно программными средствами, на сетях начинают применяться коммутаторы и маршрутизаторы нового типа, в которых основной объем операций с пакетами реализуется с использованием жесткой логики, и производительность маршрутизаторов начинает превосходить производительность коммутаторов АТМ.

Качество обслуживания (QoS, Quality of Service). Появление новых транспортных технологий, прежде всего базирующихся на оптике, порождает надежды на построение сетей с практически неограниченными и дешевыми пропускными способностями, в которых проблемы обеспечения требуемого качества обслуживания будут эффективно разрешаться без применения специальных механизмов.

Однако другая точка зрения состоит в том, что какой бы ни была возможная полоса пропускания в сети, возникают приложения (прежде всего, мультимедийные), быстро поглощающие эти излишки пропускной способности, и в сетях Интернет должны быть созданы специальные механизмы обеспечения QoS для любого вида трафика.

Необходимо ясно понимать, что если и будут созданы магистрали с практически неограниченными пропускными способностями и полоса пропускания будет очень дешевой, это не произойдет в ближайшее время. Кроме того, очевидно, что даже весьма высокие пропускные способности могут оказаться недостаточными в условиях существенно пачечного трафика, когда на отдельных участках сети возникают перегрузки, ведущие к большим задержкам и потерям пакетов.

В классических сетях IP распределение сетевых ресурсов, в первую очередь пропускных способностей трактов, осуществляется в соответствии с принципом *best effort* («наилучшая попытка»), уже упоминавшимся выше. Принцип *best effort* предполагает, что сетевые ресурсы распределяются между различными приложениями на равных условиях в зависимости от объема трафика. При этом отсутствует жесткое закрепление ресурсов за любым двухточечным соединением. Трафик обрабатывается с максимально

возможной производительностью, но любые гарантии по времени доставки пакетов отсутствуют.

С другой стороны, достоинствами принципа best effort являются эффективность использования канальных ресурсов (удельная нагрузка в IP-сетях может достигать значений 0,6-0,7) и простота реализации. Вместе с тем, как будет показано ниже, в иерархии механизмов обеспечения качества обслуживания в сетях Интернет принцип best effort занимает самую нижнюю позицию.

Отсутствие гарантированных задержек в сетях IP (по существу, отсутствие гарантированного качества обслуживания) не является сдерживающим фактором при реализации в сети Интернет таких услуг, как электронная почта, пересылка файлов, ряд Web-приложений. Для поддержки таких служб принцип best effort является вполне адекватным. В то же время задержки, даже весьма незначительные по абсолютной величине (в диапазоне несколько десятков мс), а также вариации задержек становятся серьезной проблемой и начинают играть весьма негативную роль в таких приложениях, как IP-телефония, в службах, связанных с передачей видеоинформации.

Конечно, проблему задержек отчасти можно решить с помощью создания больших избытков пропускной способности каналов и производительностей узлов. Однако такое решение сводит к нулю все достоинства IP-сетей, определяемые механизмами статистического уплотнения; очевидно также, что оно не является экономически эффективным.

Еще в начале 90-х гг. разработчики оборудования для сетей Интернет пришли к пониманию того, что для кардинального и вместе с тем эффективного применения концепции Интернет как основы глобальной сети должна быть проведена существенная модификация стека IP-ориентированных протоколов. Ревизия протоколов предполагала как усовершенствование уже используемых протоколов семейства IP, так и создание новых механизмов, обеспечивающих требуемые показатели качества обслуживания.

Прежде всего, необходимо было дополнить базовый стек протоколов TCP/IP механизмами управления пропускной способностью, которые могли бы гарантировать требуемое качество обслуживания. Разработка таких механизмов и соответствующих протоколов является сегодня первоочередной задачей Комитета IETF, разрабатывающего спецификации по основным наборам IP-ориентированных протоколов. В процессе усовершенствования IP-

ориентированных протоколов участвует также большое число производителей оборудования и исследовательских групп во всем мире. Вопросы, связанные с качеством обслуживания в сетях IP рассматриваются более детально в р. 2.3.3.

Безопасность информации. Сеть должна гарантировать не только качественную доставку информации, но и обеспечить защиту ее от несанкционированного доступа. Однако один из основных принципов сети Интернет - принцип открытых систем - приводит к тому, что сети на базе протоколов TCP/IP характеризуются весьма низким уровнем безопасности.

Уровень серьезности этой проблемы значительно возрастает в территориально распределенных IP-сетях, включающих в свой состав большое число территориально разнесенных элементов (каналов и узлов). Обеспечение безопасности в территориально распределенных сетях - как в корпоративных, так и в сетях общего пользования, является первоочередной задачей, поскольку несанкционированный доступ к информации ведет к огромным материальным и моральным потерям.

Г. Эволюция технологий в сетях Интернет

Основные направления эволюции технологий. Взрывной рост сети Интернет в 90-х гг. и постепенное ее превращение в глобальную сеть привели к тому, что принципы, заложенные в исходный протокол IP, стали препятствовать дальнейшему развитию сети - как количественному, так и качественному.

Ресурсы исходного семейства протоколов IP, прежде всего касающиеся возможностей адресации, оказались исчерпаны. Рост сетей IP привел к дефициту IP-адресов. Взрывной рост объемов трафика начал вызывать перегрузки на магистральных участках сети, блокируя нормальную работу сетевых узлов. Развитие новых услуг, связанных с индустрией развлечений и электронной коммерцией, определило появление информационных потоков с новыми характеристиками (в первую очередь, мультимедийного трафика) и новыми требованиями к показателям качества обслуживания. Наконец, использование Интернет в коммерческих целях остро поставило вопрос о необходимости применения специальных мер по защите информации.

В ответ на возникшие проблемы в начале 90-х гг. под эгидой Комитета IETF были активизированы исследования по расширению возможностей наиболее распространенной сегодня в сетях IP четвертой версии классического протокола (IPv4), а также по созданию новых механизмов и протоколов.

Основные задачи, которые необходимо было решить при создании улучшенного семейства IP-ориентированных протоколов, состоят в следующем:

- разработка масштабируемой системы адресации, обеспечивающей увеличение числа доступных IP-адресов и упрощение их конфигурирования;
- повышение эффективности маршрутизации путем упрощения процедур обработки адресной части пакетов в узлах сети;
- введение новых механизмов, поддерживающих гарантированное качество обслуживания;
- разработка новых средств аутентификации и защиты информации;
- возможность поддержки мобильных услуг в Интернет.

Д. Протокол IPv6

В 1994 г. в IETF была создана группа для разработки документов по протоколам IP нового поколения. В 1995 г. IETF принял спецификацию RFC 1752, определившую усовершенствованный протокол IP версии 6 (IPv6). Дадим краткую характеристику основных свойств протокола IPv6.

Увеличение длины служебной части пакета Основная цель при увеличении длины заголовка IP-пакетов заключалась в усовершенствовании системы адресации. Число разрядов поля адреса в протоколе IPv4 (32 бита) дает возможность присвоения почти 4,3 миллиардов адресов; с учетом роста глобальной сети этого количества может хватить на ближайшее десятилетие. Однако процессы развития новых услуг (сегодня это, в первую очередь - развитие электронной коммерции, сопровождаемой появлением миллионов новых компаний) и соответствующий рост потребностей в новых IP-адресах могут привести к тому, что запас адресов может истощиться довольно быстро.

Переход к длине адресного поля, равной 728 бит, обеспечивает жителей земли практически неисчерпаемым числом адресов, превышающим величину 10^{20} (!) на каждое устройство, которому может быть присвоен сетевой адрес. Благодаря неограниченному количеству адресов будут решены многие проблемы, в том числе трансляция адресов, поддержка сегментов с закрытыми адресными пространствами, присвоение адресов любому типу объектов и т.д.

Кроме расширения адресного поля, в протоколе IPv6 значительно увеличена полная длина заголовка пакета - со 192 (IPv4) до 320 бит. Это позволило разделить служебную часть на основной и дополнительный

заголовки и вынести ряд необязательных или опциональных параметров в дополнительные поля. В предыдущих версиях опциональные параметры размещались в основном заголовке и маршрутизаторы должны были обрабатывать большой объем ненужной информации. В протоколе IPv6 маршрутизатор обрабатывает только необходимую информацию, что снижает время обработки пакетов и суммарную нагрузку.

Повышение эффективности работы маршрутизаторов. При реализации протокола IPv4 маршрутизаторы выполняли полный набор функций обработки пакетов. В версии IPv6 предусматривается ряд процедур, позволяющих уменьшить нагрузку на маршрутизаторы. В состав этих процедур входят:

- агрегирование адресов, ведущее к уменьшению размера адресных таблиц и, как следствие, к уменьшению времени анализа и обновления таблиц;
- перенос функций фрагментации пакетов (в случае их слишком большой длины) в узлы доступа (пограничные узлы);
- использование механизма маршрутизации от источника, когда узел-источник определяет межконцевой маршрут прохождения пакета через сеть, а маршрутизаторы внутри сети освобождаются от процедуры определения следующего маршрутизатора для данного пакета;
- уже упоминавшийся отказ от обработки опциональных параметров заголовка,

Обеспечение безопасности информации. Протокол IPv6 предусматривает применение встроенных механизмов защиты информации, называемых IPsec (IP Security). Для этого вводится специальный дополнительный заголовок Encryption, Механизмы и спецификации IPsec описанные в документе RFC 2401 ("Security Architecture for the Internet Protocol", 1998), обеспечивают:

- аутентификацию источников и получателей информации;
- шифрование, аутентификацию и целостность передаваемых данных.

Протоколы аутентификации пользователей и защиты данных сегодня становятся весьма популярными, особенно в связи с возможностями их применения при организации виртуальных частных сетей,

Проблемы внедрения протокола IPv6. При обсуждении перспектив распространения протокола IPv6 необходимо иметь в виду, что основная часть

аппаратно-программных сетевых модулей реализует протокол IP четвертой версии. В связи с этим возникает проблема, как наиболее эффективно осуществить переход на новое семейство протоколов, ориентированных на версию IPv6,

В начале 1996 г, для проверки свойств новой шестой версии протокола IP и исследования проблем, возникающих при переходе от IPv4 к IPv6, по инициативе IETF создана экспериментальная сеть 6Bone, охватывающая страны Северной Америки, Европы (в том числе и Россию), Японию и включающая в себя несколько сотен сетей IP. В сети 6Bone часть маршрутизаторов поддерживает обе версии протокола IP, образуя виртуальную сеть, функционирующую поверх сети IPv4 и обеспечивающую передачу пакетов между рабочими станциями (хостами) и между маршрутизаторами по протоколу IPv6, Процесс инкапсуляции протокольных блоков IPv6 в датаграммы протокола IPv4 и их передачи называется туннелированием. Фрагменты, поддерживающие протокол IPv6, соединяются между собой туннелями. Документ RFC 1933 определяет четыре типа туннелей - между маршрутизаторами, между рабочими станциями и между маршрутизаторами и рабочими станциями.

Благодаря большому набору новых функциональных возможностей, протокол IPv6, безусловно, получит широкое распространение. Однако переход к новому протоколу требует существенной модификации сетевых продуктов - маршрутизаторов, коммутаторов и операционных систем, поддерживающих протокол IPv4.

Очевидно, что с учетом масштабов распространения базового протокола IPv4, подобная модификация сети Интернет потребует значительных затрат, как временных, так и финансовых. Поэтому, несмотря на новые функциональные возможности протокола IPv6, перед сетевыми операторами и провайдерами Интернет стоит достаточно сложная задача выбора вариантов перехода на новый протокол.

2.3.3. Качество обслуживания в сетях IP

А. Введение

Качество обслуживания (Quality of Service, QoS) является предметом активных исследований и стандартизации на протяжении всей истории развития телекоммуникаций. Существенный вклад в развитие различных

аспектов концепции QoS внес Международный союз электросвязи (МСЭ), включая, в том числе, разработку норм и требований к показателям качества обслуживания, стандартизацию сетевых механизмов, обеспечивающих необходимые показатели QoS, а также формулировку основополагающих определений.

Концепция “наилучшей попытки” была достаточно эффективной в сетях IP для приложений, где можно передавать данные не в реальном времени (электронная почта, передача файлов). Однако, как только возникает недостаток ресурсов, ведущий к увеличению вероятности потерь пакетов и росту их задержек, для приложений реального времени необходимые показатели качества обслуживания не могут быть обеспечены. Прежде всего, это объясняется основным принципом функционирования IP-сетей – передачей данных без установления соединений и без управления. С появлением новых приложений, особенно, приложений реального времени (интерактивная передача речи, видеотелефония и видеоконференции), вопрос о гарантированном качестве обслуживания в сетях IP становится одним из наиболее сложных. Это объясняет, почему качество обслуживания в сетях IP остается предметом постоянного внимания международных организаций стандартизации в электросвязи.

Сегодня является общепризнанным, что сети с коммутацией каналов и сети с коммутацией пакетов постепенно эволюционируют в направлении создания общей инфраструктуры, базирующейся на протоколах семейства IP. Этот процесс получил название конвергенции. Инфраструктура, возникшая в результате конвергенции, должна будет обеспечивать транспортировку трафика телефонных сетей, сетей телевидения и трафика приложений, традиционно использующих сегодня сети Интернет. Подобный сценарий конвергенции предлагает как экономический выигрыш, получаемый благодаря объединению технологий, так и определяет развитие сектора телекоммуникаций через создание новых услуг.

Однако, процесс конвергенции до настоящего времени протекает достаточно медленно. И здесь мы вновь возвращаемся к проблеме обеспечения необходимого качества обслуживания, которая является одним из основных тормозящих факторов в процессе конвергенции сетей и услуг и построении единой сети на базе IP, рассматриваемой сегодня как сеть следующего поколения (Next Generation Network, NGN). Для того, чтобы

полностью реализовать преимущества конвергенции, в будущих IP-ориентированных сетях, необходимо разработать новые принципы распределения ресурсов сетей и управления трафиком, которые будут гарантировать различные уровни показателей качества обслуживания для большого и разнообразного числа приложений, реализуемых конечными пользователями. При этом разделение ресурсов и процессы управления трафиком должны быть скоординированы в условиях наличия большого числа разнообразных приложений с существенно отличающимися требованиями к рабочим характеристикам сети (см. Таблицу 2.1). Детальное рассмотрение рабочих характеристик, определяющих качество обслуживания, и соответствующих норм будет проведено в следующих разделах.

Таблица 2.1. Чувствительность различных приложений к сетевым характеристикам

Тип трафика	Уровень чувствительности к сетевым характеристикам			
	Полоса пропускания	Потери	Задержка	Джиттер
Голос	Очень низкий	Средний	Высокий	Высокий
Электронная коммерция	Низкий	Высокий	Высокий	Низкий
Транзакции	Низкий	Высокий	Высокий	Низкий
Электронная почта	Низкий	Высокий	Низкий	Низкий
Telnet	Низкий	Высокий	Средний	Низкий
Поиск в сети "от случая к случаю"	Низкий	Средний	Средний	Низкий
Постоянный поиск в сети	Средний	Высокий	Высокий	Низкий
Пересылка файлов	Высокий	Средний	Низкий	Низкий
Видео конференция	Высокий	Средний	Высокий	Высокий
Мультикастинг	Высокий	Высокий	Высокий	Высокий

Б. Работы Международного Союза Электросвязи по стандартизации качества обслуживания в сетях IP

В рамках работ МСЭ по стандартизации качества обслуживания в сетях IP предполагаются следующие этапы решения задачи обеспечения QoS для сетей, построенных на базе IP-ориентированных протоколов:

- Создание согласованного общего набора рабочих характеристик сетей IP и норм для этого набора характеристик;
- Внедрение сетевых механизмов, которые будут обеспечивать заданные показатели качества обслуживания в конфигурации «терминал-терминал»;

- Вложение нормированных значений показателей качества обслуживания в протоколы сигнализации;
- Разработка архитектуры сетевых механизмов поддержки;

В 2002 г. 13-ая Исследовательская Комиссия МСЭ-Т опубликовала два международных стандарта, которые отвечают первому из перечисленных этапов. Рекомендация МСЭ Y.1540 описывает стандартные сетевые характеристики для передачи пакетов в сетях IP. Рекомендация МСЭ Y.1541 определяет нормы для параметров, определенных в Рекомендации Y.1540, между двумя граничными сетевыми интерфейсам – точками подключения конечных терминальных устройств. Кроме того, в этой рекомендации специфицированы шесть классов качества обслуживания в зависимости от приложений. Рассмотрим некоторые детали Рекомендаций Y.1540 и Y.1541, касающиеся основных сетевых характеристик, связанных с обеспечением QoS в сетях IP.

Рекомендация МСЭ Y.1540

В Рекомендации Y.1540 рассматриваются следующие сетевые характеристики как наиболее важные по степени их влияния на сквозное качество обслуживания (от источника до получателя), оцениваемое пользователем:

- Производительность сети
- Надежность сети/сетевых элементов
- Задержка
- Вариация задержки (джиттер)
- Потери пакетов

Производительность сети. Производительность сети (или скорость передачи данных) пользователя определяется как эффективная скорость передачи, измеряемая в битах в секунду. Следует отметить, что значение этого параметра не совпадает с максимальной пропускной способностью сети, ошибочно называемой (причем, довольно часто) полосой пропускания. Минимальное значение производительности обычно гарантируется провайдером услуг, который, в свою очередь, должен иметь соответствующие гарантии от сетевого провайдера.

В Рекомендации Y.1540 не приведены нормативные характеристики производительности сети, которые различаются для различных приложений. Вместе с тем, в Рекомендации Y.1541 отмечено, что параметры, связанные с

эффективной скоростью передачи, могут быть определены через дескриптор трафика IP-сети, описанный в Рекомендации МСЭ Y.1221.

Надежность сети/сетевых элементов. Пользователи обычно ожидают высокий уровень надежности от систем связи. Надежность сети может быть определена через ряд параметров, из которых наиболее часто используется коэффициент готовности, вычисляемый как отношение времени простоя объекта к суммарному времени наблюдения. В идеальном случае коэффициент готовности должен быть равен 1, что означает 100%-ную готовность сети. На практике коэффициент готовности оценивается числом “девяток”. Например “три девятки” означают, что коэффициент готовности составляет 0,999, что соответствует 9 часам времени недоступности (простоя) сети в год. Готовность сети ТфОП оценивается величиной “пять девяток”, что означает 5,5 минут простоя в год. В Таблице 2.2 приведены данные по времени простоя для различного количества “девяток”.

Таблица 2.2. Коэффициенты готовности и соответствующие значения времени простоя оборудования

Коэффициент готовности	Время простоя
0,99	3,7 дней в год
0,999	9 часов в год
0,9999	53 минуты в год
0,99999	5,5 минут в год
0,99999999	30 секунд в год

Необходимо отметить, что обеспечение коэффициента готовности “пять девяток” в сетях IP, построенных на традиционном оборудовании данных (серверы, маршрутизаторы), является достаточно серьезной проблемой. Причина этого состоит в том, что обработка информационных потоков в сетях IP в значительной части базируется на программном обеспечении. В то же время статистика отказов сетевого оборудования показывает, что надежность программного обеспечения примерно в два раза ниже надежности аппаратного обеспечения.

Параметры доставки пакетов IP. Сеанс связи состоит из трех фаз – установления соединения, передачи информации и разъединения соединения. В Рекомендации Y.1540 из трех фаз сеанса связи рассматривается только вторая фаза - фаза доставки пакетов IP. Такой подход отражает природу сетей IP, не ориентированных на установление соединений. Спецификацию рабочих

характеристик и параметров QoS для двух других фаз (установление и разъединение соединения) планируется провести в дальнейшем.

Рекомендация ITU-T Y.1540 определяет следующие параметры, характеризующие доставку IP-пакетов.

Задержка доставки пакета IP (IP packet transfer delay, IPTD).

Параметр IPTD определяется как время ($t_2 - t_1$) между двумя событиями – вводом пакета во входную точку сети в момент t_1 и выводом пакета из выходной точки сети в момент t_2 , где

$$(t_2 > t_1)$$

и

$$(t_2 - t_1) \leq T_{\max}.$$

В общем, параметр IPTD определяется как время доставки пакета между источником и получателем для всех пакетов - как успешно переданных, так и для пакетов, пораженных ошибками.

Средняя задержка доставки пакета IP – параметр, специфицированный в Рекомендации Y.1540, определяется как средняя арифметическая величина задержек пакетов в выбранном наборе переданных и принятых пакетов. Значение средней задержки зависит от передаваемого в сети трафика и доступных сетевых ресурсов, в частности, от пропускной способности. Рост нагрузки и уменьшение доступных сетевых ресурсов ведут к росту очередей в узлах сети и, как следствие, к увеличению средних задержек доставки пакетов.

Речевая информация и, отчасти, видеoinформация являются примерами трафика, чувствительного к задержкам, тогда как приложения данных в основном менее чувствительны к задержкам. Когда задержка доставки пакета превышает определенные значения T_{\max} , такие пакеты отбрасываются. В приложениях реального времени (например, в IP-телефонии) это ведет к ухудшению качества речи. Ограничения, связанные со средней задержкой пакетов IP, играют ключевую роль для успешного внедрения технологии Voice over IP (VoIP), видеоконференций и других приложений реального времени. Этот параметр во многом будет определять готовность пользователей принять подобные приложения.

Вариация задержки пакета IP (IP packet delay variation, IPDV).

Параметр σ_k , характеризует вариацию задержки IPDV. Для IP-пакета с индексом k этот параметр определяется между входной и выходной точками сети в виде разности между абсолютной величиной задержки x_k при доставке

пакета с индексом k , и определенной эталонной (или опорной) величиной задержки доставки пакета IP, $d_{1,2}$, для тех же сетевых точек:

$$v_k = x_k - d_{1,2}.$$

Эталонная задержка доставки пакета IP, $d_{1,2}$, между источником и получателем определяется как абсолютное значение задержки доставки первого пакета IP между данными сетевыми точками. Вариация задержки пакета IP, или **джиттер**, проявляется в том, что последовательные пакеты прибывают к получателю в нерегулярные моменты времени. В системах IP-телефонии это, к примеру, ведет к искажениям звука и, в результате, к тому, что речь становится неразборчивой.

Коэффициент потери пакетов IP (IP packet loss ratio, IPLR).

Коэффициент IPLR определяется как отношение суммарного числа потерянных пакетов к общему числу принятых пакетов в выбранном наборе переданных и принятых пакетов. Потери пакетов в сетях IP возникают в том случае, когда значение задержек при передаче пакетов превышает нормированное значение, определенное выше как T_{max} . Если пакеты теряются, то при передаче данных возможна их повторная передача по запросу принимающей стороны. В системах VoIP пакеты, пришедшие к получателю с задержкой, превышающей T_{max} , отбрасываются, что ведет к провалам в принимаемой речи. Среди причин, вызывающих потери пакетов необходимо отметить рост очередей в узлах сети, возникающих при перегрузках.

Коэффициент ошибок пакетов IP (IP packet error ratio, IPER).

Коэффициент IPER определяется как суммарное число пакетов, принятых с ошибками, к сумме успешно принятых пакетов и пакетов, принятых с ошибками.

Рекомендация МСЭ Y.1541

Рекомендация Y.1540 определяет численные значения параметров, специфицированных в Рекомендации Y.1540, которые должны выполняться в сетях IP на международных трактах, соединяющих терминалы пользователей. Нормы на параметры разделены по различным классам QoS, которые определены в зависимости от приложений и сетевых механизмов, применяемых для обеспечения гарантированного качества обслуживания. В Таблице 2.3 представлены нормы на определенные выше сетевые характеристики.

Значения параметров, приведенные в таблице, представляют собой, соответственно, верхние границы для средних задержек, джиттера, потерь и ошибок пакетов. В Рекомендации Y.1541 представлены спецификации набора параметров, связанных с измерением реальных значений сетевых характеристик – периода наблюдений, длины тестовых пакетов, числа пакетов и т.д. В частности, при оценке качества передачи пакетов речи в IP-телефонии минимальный интервал наблюдения должен быть порядка 1 – 20 секунд при типичной скорости передачи 50 пакетов/с. Рекомендуемый интервал измерений для задержки, джиттера и потерь должен составлять не менее 60 секунд.

Таблица 2.3. Нормы для характеристик сетей IP с распределением по классам качества обслуживания

Сетевые характеристики	Классы QoS					
	0	1	2	3	4	5
Задержка доставки пакета IP,	100 мс	400 мс	100 мс	400 мс	1 с	Н
Вариация задержки пакета IP,	50 мс	50 мс	Н	Н	Н	Н
Коэффициент потери пакетов	1×10^{-3}	Н				
Коэффициент ошибок пакетов	1×10^{-4}	Н				

Примечание: Н - не нормировано

Рекомендация Y.1541 устанавливает соответствие между классами качества обслуживания и приложениями:

- Класс 0 – Приложения реального времени, чувствительные к джиттеру, характеризующиеся высоким уровнем интерактивности (VoIP, видеоконференции)
- Класс 1 - Приложения реального времени, чувствительные к джиттеру, интерактивные (VoIP, видеоконференции)
- Класс 2 – Транзакции данных, характеризующиеся высоким уровнем интерактивности (например, сигнализация)
- Класс 3 - Транзакции данных, интерактивные
- Класс 4 – Приложения, допускающие низкий уровень потерь (короткие транзакции, массивы данных, потоковое видео)
- Класс 5 – Традиционные применения сетей IP

В. Архитектура сетевых механизмов обеспечения качества обслуживания в сетях IP

Помимо определения сетевых параметров и спецификации норм для них, 13-ая Исследовательская комиссия МСЭ-Т проводит в настоящее время работы по идентификации и стандартизации сетевых механизмов, обеспечивающих QoS в IP-ориентированных сетях. В мае 2004 г. была принята Рекомендация МСЭ Y.1291, описывающая архитектурную модель для поддержки качества обслуживания в сетях с пакетной передачей.

Сетевые механизмы должны использоваться в комбинации с характеристиками качества обслуживания, формируемыми в зависимости от приложений. При разработке архитектуры сетевых механизмов учитывалось, что различные услуги будут иметь разнообразные требования к характеристикам сети. Например, для телемедицины точность доставки играет более существенную роль, чем суммарная средняя задержка или джиттер, тогда как для IP-телефонии джиттер и задержка являются ключевыми характеристиками и должны быть минимизированы. С учетом тенденции постоянного расширения числа приложений с различными требованиями к характеристикам качества обслуживания архитектура поддержки QoS должна включать в себя широкий набор общих сетевых механизмов, как существующих, так и перспективных, подлежащих разработке.

Архитектура поддержки QoS определяет набор сетевых механизмов, называемых конструктивными блоками. В настоящее время определен начальный набор конструктивных блоков, отвечающих трем логическим плоскостям: плоскости контроля, плоскости данных (информационной плоскости) и плоскости административного управления (см. Рисунок 2.6).

Плоскость контроля. Механизмы QoS контрольной плоскости оперируют с путями, по которым передается трафик пользователей, и включают в свой состав:

- Управление допуском (Admission Control, AC)
- Маршрутизацию для QoS (QoS routing)
- Резервирование ресурсов (Resource reservation).



Рис. 2.6. Архитектурная модель для поддержки качества обслуживания

Плоскость данных. Эта группа механизмов оперирует непосредственно с пользовательским трафиком и включает в себя:

- Управление буферами (Buffer management)
- Предотвращение перегрузок (Congestion avoidance)
- Маркировка пакетов (Packet marking)
- Организация и диспетчеризация очередей (Queuing and scheduling)
- Формирование трафика (Traffic shaping)
- Правила обработки трафика (Traffic policing)
- Классификация трафика (Traffic classification)

Плоскость административного управления. Эта плоскость содержит механизмы QoS, имеющие отношение к эксплуатации, администрированию и управлению сетью применительно к доставке пользовательского трафика. В число механизмов QoS на этой плоскости входят:

- Измерения (Metering)
- Заданные правила доставки (Policy)
- Восстановление трафика (Traffic restoration)
- Соглашение об уровне обслуживания (Service Level Agreement).

Сетевые механизмы QoS (или, следуя терминологии МСЭ, блоки QoS) могут быть специфицированы применительно к сетевым узлам (например,

управление буферами узлов) или к сетевым сегментам (маршрутизация QoS), где понятие “сетевой сегмент” может относиться к межконцевому соединению, участку доступа, межузловому участку или участку, соединяющему две и более сетей. Далее мы рассмотрим некоторые из перечисленных выше механизмов.

Для иллюстрации того, как различные механизмы поддержки QoS могут быть использованы в стандартизованных методах обеспечения требуемых показателей качества обслуживания, мы рассмотрим два наиболее широко применяемых в настоящее время подхода при решении задачи обеспечения качества обслуживания: Интегрированные услуги (IntServ) и Дифференцированные услуги (DiffServ).

Г. Механизмы поддержки качества обслуживания в сетях IP

Как было отмечено выше, переход к сетям следующего поколения, построенным на базе стека протоколов IP, возможен только при условии, что для большого числа приложений будут обеспечены соответствующие показатели качества обслуживания. Для достижения этой цели был разработан ряд механизмов борьбы с задержками и потерями, которые в соответствии с разрабатываемой Рекомендацией МСЭ-Т Y.1291 разделены по трем плоскостям – плоскости контроля, плоскости данных и плоскости административного управления.

1. Механизмы QoS в плоскости контроля

Управление допуском (Call Admission Control). Этот механизм контролирует новые заявки на пропуск трафика через сеть, определяя, может вновь поступающий трафик привести к перегрузке сети или к ухудшению уровня качества обслуживания для уже имеющегося в сети трафика. Обычно управление допуском построено на определенном наборе правил администрирования, контроля и управления сетевыми ресурсами. Эти правила могут быть специфицированы в соответствии с потребностями сетевого провайдера или базироваться на соглашении между провайдером и пользователем и включать в свой состав различные параметры качества обслуживания. Для удовлетворения требований определенных служб (например, при чрезвычайных обстоятельствах), соответствующему трафику может быть присвоен высший приоритет при доступе в сеть.

Маршрутизация QoS (QoS routing). Маршрутизация QoS обеспечивает выбор пути, который удовлетворяет требованиям к качеству обслуживания для конкретного потока данных. Выбираемый путь может отличаться от

кратчайшего пути. Процесс определения пути предполагает знание требований к качеству обслуживания со стороны потока данных и наличие информации о доступных сетевых ресурсах. В настоящее время предложено большое число возможных методов определения наилучшего пути по критерию QoS. Как правило, в вычислениях наилучшего пути в маршрутизации QoS учитывается либо одна сетевая характеристика, либо, максимум, две (производительность и задержка, стоимость и производительность, стоимость и задержка и т.д.), с тем, чтобы сделать процесс вычислений приемлемым для инженерных расчетов.

Резервирование ресурсов (Resource reservation). В целом, необходимым условием для обеспечения резервирования ресурсов является наличие ресурсов в сети. Резервирование ресурсов широко использовалось в сетях ATM при формировании постоянных виртуальных соединений. В IP-ориентированных сетях наиболее типичным механизмом резервирования является механизм, базирующийся на протоколе RSVP, рассматриваемом ниже.

2. Механизмы QoS в плоскости данных

Управление буферами (Buffer management). Управление буферами (или очередями) состоит в управлении пакетами, стоящими в узлах в очереди на передачу. Основные задачи управления очередями – минимизация средней длины очереди при одновременном обеспечении высокого использования канала, а также справедливое распределение буферного пространства между различными потоками данных. Схемы управления очередями различаются, в основном, критерием, по которому отбрасываются пакеты, и местом в очереди, откуда производится сброс пакетов (начало или конец очереди). Наиболее простым критерием для сброса пакетов является достижение очередью определенного порога, называемого максимальной длиной очереди.

Более распространены сегодня так называемые механизмы активного управления очередями. Типичным примером является алгоритм RED (Random Early Detection, Раннее случайное обнаружение перегрузки). При использовании алгоритма RED поступающие в буфер пакеты сбрасываются на основании оценки средней длины очереди. Вероятность сброса пакетов растет с ростом средней длины очереди.

Предотвращение перегрузок (Congestion avoidance). Механизмы предотвращения перегрузок поддерживают уровень нагрузки в сети ниже ее пропускной способности. Обычный способ предотвращения перегрузок состоит

в уменьшении трафика, поступающего в сеть. Как правило, команда уменьшить трафик влияет в первую очередь на низкоприоритетные источники. Одним из примеров механизмов предотвращения перегрузок является механизм окна в протоколе TCP.

Маркировка пакетов (Packet marking). Пакеты могут быть промаркированы в соответствии с определенным классом обслуживания. Маркировка обычно производится во входном пограничном узле, где в специальное поле заголовка (Type of Service в заголовке IP или DS-байт в заголовке DiffServ, см. ниже) вводится определенное значение. Кроме того, маркировка применяется для тех пакетов, которые могут быть удалены в случае перегрузки сети.

Организация и планирование очередей (Queuing and scheduling). Цель механизмов этой группы – выбор пакетов для передачи из буфера в канал. Большинство дисциплин обслуживания (или планировщиков) основаны на схеме “первый пришел – первый обслуживается”. Для обеспечения более гибких процедур вывода пакетов из очереди был предложен ряд схем, основанных на формировании нескольких очередей. Среди них, в первую очередь необходимо назвать *схемы приоритетного обслуживания*. Другой пример гибкой организации очереди – *механизм взвешенной справедливой буферизации (Weighted Fair Queuing, WFQ)*, когда ограниченная пропускная способность на выходе узла распределяется между несколькими потоками (очередями) в зависимости от требований к пропускной способности со стороны каждого потока.

Еще одна схема организации очереди основана на классификации потоков по классу обслуживания (*Class-Based Queuing, CBQ*). Потоки классифицируются в соответствии с классами обслуживания и затем размещаются в буфере в различных очередях. Каждой очереди выделяется определенный процент выходной пропускной способности в зависимости от класса, и очереди обслуживаются по циклической схеме.

Формирование трафика (Traffic shaping). Формирование или управление характеристиками трафика предполагает контроль скорости передачи пакетов и объема потоков, поступающих на вход сети. В результате прохождения через специальные формирующие буферы уменьшается пачечность исходного трафика, и его характеристики становятся более предсказуемыми. Известны два механизма обработки трафика – Leaky Bucket

(“дырявое ведро”) и Token Bucket (“ведро с жетонами”). Алгоритм Leaky Bucket регулирует скорость пакетов, покидающих узел. Независимо от скорости входного потока, скорость на выходе узла является величиной постоянной. Когда ведро переполняется, лишние пакеты сбрасываются.

В противоположность этому, алгоритм Token Bucket не регулирует скорость на выходе узла и не сбрасывает пакеты. Скорость пакетов на выходе узла может быть такой же, как и на входе, если только в соответствующем накопителе («ведре») есть жетоны. Жетоны генерируются с определенной скоростью и накапливаются в ведре. Алгоритм характеризуется двумя параметрами – скоростью генерации жетонов и размером памяти («ведра») для них. Пакеты не могут покинуть узел, если в ведре нет жетонов. И наоборот, сразу пачка пакетов может покинуть узел, израсходовав соответственное число жетонов.

Правила обработки трафика (Traffic policing). Этот блок принимает решение о том, соответствует ли поступающий от транзитного узла к транзитному узлу трафик заранее согласованным правилам обработки или контрактам. Обычно несоответствующие пакеты отбрасываются. Отправители могут быть уведомлены об отброшенных пакетах и обнаруженных причинах, а также о соблюдении соответствия в будущем, обусловленного соглашениями SLA.

Классификация трафика (Traffic classification). Классификация трафика может быть проведена на потоковом или пакетном уровне. На входе в сеть в узле доступа (пограничном маршрутизаторе) пакеты классифицируются для того, чтобы выделить пакеты одного потока, характеризуемого общими требованиями к качеству обслуживания. Затем трафик подвергается процедуре нормирования (механизм *Traffic Conditioning*). Нормирование трафика предполагает измерение параметров трафика и сравнение результатов измерений с параметрами, оговоренным в контракте по трафику, известному как Соглашение об уровне обслуживания (Service Level Agreement, SLA, см. ниже). Если условия SLA нарушаются, то часть пакетов может быть отброшена. Магистральные маршрутизаторы, составляющие ядро сети, обеспечивают пересылку пакетов в соответствии с требуемым уровнем QoS.

3. Механизмы QoS в плоскости административного управления

Измерения (Metering). Измерения обеспечивают контроль параметров трафика – например, скорость потока данных в сравнении с согласованной в

SLA скоростью. По результатам измерений могут быть реализованы определенные процедуры, такие, как сброс пакетов и применение механизмов Leaky Bucket и Token Bucket.

Заданные правила доставки (Policy). Под правилами доставки здесь понимается набор правил, используемых для контроля и административного управления доступом к сетевым ресурсам. На основе таких правил поставщики услуг могут осуществлять реализацию механизмов в плоскости управления и плоскости данных. Возможными применениями правил доставки являются маршрутизация по заданным правилам, фильтрация пакетов на основе заданных правил (маркировка или отбрасывание пакетов), регистрация заданных потоков, правила обработки, связанные с безопасностью.

Восстановление трафика (Traffic restoration). Под восстановлением трафика в данной Рекомендации понимается реакция сети, смягчающая последствия в условиях отказа. Восстановление трафика рассматривается на различных уровнях эталонной модели процессов. На физическом уровне при использовании SDH надежность обеспечивается автоматической защитной коммутацией. На канальном уровне транспортных сетей восстановление трафика обеспечивается специальными механизмами, развитыми для кольцевых и ячеистых структур. Соответствующие процедуры предусмотрены в технологии ATM. Восстановление на сетевом уровне (протокол IP) осуществляется с помощью технологии MPLS.

Соглашение об уровне обслуживания (Service Level Agreement). Одним из основных понятий в концепции обеспечения требуемого уровня качества обслуживания в современных сетях является соглашение об уровне обслуживания. Первые SLA-контракты были разработаны в середине 90-х годов при предоставлении услуг передачи данных с использованием технологий Frame Relay, ATM и IP. Необходимость подобных контрактов была вызвана возрастающими требованиями к операторам со стороны клиентов, чей бизнес все больше зависел от надежной и своевременной передачи информации. Контракт SLA предполагает повышенную ответственность поставщика услуг, дисциплинирует его. В какой-то степени это дисциплинирует и заказчика, поскольку заключению соглашения предшествует этап анализа требований к уровню сервиса.

Соглашение SLA, называемое в ряде источников контрактом по трафику, представляет собой контракт между пользователем и провайдером

услуг/сетевым провайдером. В контракте определяются основные характеристики (*профиль*) трафика, формируемого в оборудовании пользователя, и параметры QoS, предоставляемые провайдером. Соглашение SLA может включать в себя также и ценовые характеристики. Техническая часть SLA специфицирует набор параметров и их значения, которые вместе определяют уровень обслуживания, обеспечиваемый трафику пользователя со стороны сетевого провайдера.

Контракт SLA может быть *статическим* (согласовывается на длительный период - месяц, год и т.п.) или *динамическим* (определяется для каждого сеанса). В последнем случае для запроса требуемого уровня QoS должен использоваться сигнальный протокол (например, RSVP). Соглашения SLA, прежде всего, предполагают четко регламентированные обязательства поставщика услуг по обеспечению их качества (время предоставления услуги, например, круглосуточно или только в рабочие дни; время реакции на инцидент; время выезда персонала к заказчику; время закрытия инцидента и т.д.), а также штрафные санкции за нарушение регламента. Из опыта зарубежных сетевых провайдеров известно, что стоимость SLA добавляется к стоимости гарантийного обслуживания и в ряде случаев стоимость SLA может быть в несколько раз выше стоимости гарантийного обслуживания.

2.3.4. Основные модели обеспечения качества обслуживания в сетях IP

A. Модель предоставления интегрированных услуг (IntServ)

Процесс превращения сети Интернет в середине 90-х гг. из академической в коммерческую инфраструктуру, рост числа узлов и количества пользователей, применение сети Интернет для разнообразных приложений с различными требованиями к качеству обслуживания – все эти факторы определили быстрое развитие механизмов поддержки QoS. В ответ на новые условия, возникшие в сетях IP, Комитет IETF предложил большой набор моделей и механизмов для обеспечения качества обслуживания в сетях Интернет, которые разделяются на две категории в соответствии с названиями рабочих групп Комитета IETF, разрабатывающих эти модели и механизмы - интегрированных и дифференцированных услуг.

Рабочая группа *Integrated Services Working Group* разрабатывала модель предоставления интегрированных услуг (или *IntServ*), основанную на принципе интегрированного резервирования ресурсов. Модель IntServ была разработана

для поддержки приложений реального времени, чувствительных к задержкам. Механизмы, реализующие модель интегрированных услуг, должны обеспечивать взаимодействие всех сетевых устройств для поддержки любого уровня QoS вдоль пути передачи определенного потока пакетов.

Наиболее детально среди механизмов группы IntServ проработан протокол *RSVP (Resource ReSerVation Protocol)*, спецификация которого (RFC 2205, [8]) была принята Комитетом IETF в 1997 г. Механизмы группы IntServ относятся к группе методов, гарантирующих «жесткое» или абсолютное качество обслуживания. Протокол RSVP является наиболее известным представителем группы механизмов интегрированного обслуживания. По существу, RSVP представляет собой протокол сигнализации, в соответствии с которым осуществляется резервирование и управление ресурсами с целью гарантии «жесткого» качества обслуживания. Резервирование производится для определенного потока IP-пакетов перед началом передачи этого потока. Идентификация потока (определение пакетов, принадлежащих одному потоку) осуществляется по специальной метке, размещаемой в основном заголовке каждого пакета IPv6. После резервирования пути начинается передача пакетов данного потока, обслуживаемых на всем межконцевом соединении с заданным качеством.

Протокол RSVP является только протоколом сигнализации. Для обеспечения требуемого качества обслуживания на фазе переноса пакетов трафика он должен быть дополнен одним из существующих протоколов маршрутизации, а также набором механизмов управления трафиком, включающих управление допустимостью соединений (CAC), классификацию трафика, управление и планирование очередей, а также другие механизмы, составляющие основу архитектуры механизмов поддержки QoS, рассмотренную выше.

Несмотря на возможности протоколов группы IntServ в плане обеспечения требуемых показателей QoS, реализация и развертывание методов интегрированного обслуживания связаны с определенными трудностями, особенно в территориально распределенных сетях. В частности, необходимо учитывать возможность перегрузки маршрутизаторов и переполнения накопителей в сетевых узлах при большом числе одновременно обслуживаемых потоков. Необходимо также признать, что протоколы группы IntServ не отвечают требованиям масштабируемости. Достаточно высокими

оказываются и требования к маршрутизаторам с точки зрения набора обязательных механизмов (RSVP, CAC и др.). Поэтому во второй половине 90-х гг. (именно в этот период был отмечен взрывной рост сетей Интернет) начались работы по созданию моделей и механизмов предоставления дифференцированных услуг (DiffServ). Эти работы проводятся группой Differentiated Services Working Group Комитета IETF.

Б. Модель предоставления дифференцированных услуг

Модель дифференцированных услуг (*Differentiated Services*, DiffServ) является логическим продолжением работ IETF над архитектурой IntServ. Недостатки, заложенные в самом принципе модели IntServ (жесткие гарантии качества обслуживания, низкий уровень масштабирования) привели к необходимости создания более гибких механизмов обеспечения QoS. Общая характеристика принципов предоставления дифференцированных услуг (RFC-2475, [9]) была опубликована в декабре 1998 г, а более детальные спецификации появились в середине 1999 г. Методы DiffServ составляют группу механизмов, которые в отличие от методов IntServ обеспечивают относительное или «мягкое» качество обслуживания.

Основная идея механизмов DiffServ состоит в предоставлении дифференцированных услуг для набора классов трафика, отличающихся требованиями к показателям качества обслуживания. Как и в случае механизмов IntServ, для реализации дифференцированных услуг широко применяются механизмы, входящие в состав рассмотренной выше архитектуры поддержки QoS в сетях IP.

Одним из центральных понятий модели DiffServ является соглашение об уровне обслуживания, входящее в состав механизмов QoS на плоскости менеджмента. В модели DiffServ архитектура сети представляется в виде двух сегментов - пограничных участков и ядра. На входе в сеть в узле доступа (пограничном маршрутизаторе) пакеты классифицируются (механизм *Traffic classification*) для того, чтобы выделить пакеты одного потока, характеризуемого общими требованиями к качеству обслуживания. Затем трафик подвергается процедуре нормирования (механизм *Traffic conditioning*). Нормирование трафика предполагает измерение параметров трафика и сравнение результатов измерений с параметрами, оговоренным в контракте SLA. Если условия SLA нарушаются, то часть пакетов может быть отброшена. При необходимости поток пакетов проходит через устройство профилирования

(механизм *Traffic shaping*). Магистральные маршрутизаторы, составляющие ядро сети, обеспечивают пересылку пакетов в соответствии с требуемым уровнем QoS.

Требования к необходимому набору показателей качества обслуживания задаются в специальном однобайтовом поле каждого пакета - в октете *Type of Service (ToS)* протокола IPv4 или в октете *Traffic Class (TC)* протокола IPv6. Отметим, что в модели DiffServ это поле называется *DS-байтом*. Содержание DS-байта определяет вид предоставляемых услуг. Первые два бита определяют приоритет пакета, следующие четыре - требуемый класс обслуживания пакета в узле и два бита остаются неиспользуемыми. Класс обслуживания здесь означает механизм обработки и продвижения пакета из данного узла к следующему узлу (*Per-Hop Behavior, PHB*) в соответствии с необходимым качеством обслуживания. Таким образом, с помощью поля DS можно определить до 32 двух различных уровней качества обслуживания.

В стандартах IETF RFC 2598 и RFC 2597 были определены два класса услуг для модели DiffServ. В спецификации RFC 2598 описан класс «срочной доставки» (*Expedited Forwarding, EF*), обеспечивающий наивысший из возможных уровней качества обслуживания (*Premium Service*) и применяемый для приложений, требующих доставки с минимальными значениями задержки и джиттера. Второй класс обслуживания, получивший название «гарантированной доставки» (*Assured Forwarding, AF*), представлен в спецификации RFC 2597. Класс гарантированной доставки поддерживает уровень качества обслуживания более низкий, чем класс срочной доставки, но более высокий, чем обслуживание по принципу «наилучшей попытки». Внутри этого диапазона QoS класс AF определяет четыре типа трафика и три уровня отбрасывания пакетов. Таким образом, класс AF обеспечивает возможность обслуживания до 12 разновидностей трафика в зависимости от набора требуемых показателей качества обслуживания.

Обработка пакетов в соответствии с определенными уровнем приоритета и типом трафика осуществляется специальными схемами обслуживания очередей, обеспечивающими контроль задержек и джиттера пакетов и исключение возможных потерь. Среди основных механизмов управления очередями отметим приоритетное обслуживание (*Priority Queuing*), взвешенное справедливое обслуживание (*Weighted Fair Queuing*) и обслуживание в соответствии с механизмом PHB (*Class-Based Queuing*).

Относительная простота классификации трафика в модели DiffServ и отсутствие механизмов сквозного (end-to-end) резервирования ресурсов определяют широкие возможности применения дифференцированных услуг по сравнению с механизмами IntServ. Применение механизмов DiffServ в магистральном ядре сети позволяет использовать их для обработки агрегированного трафика, который может объединяться в пограничных сегментах сети. Такой подход может оказаться эффективным, например, в IP-телефонии, когда множество речевых потоков объединяются в один агрегированный поток, характеризуемый одинаковыми требованиями к показателям качества обслуживания.

По-видимому, механизмы DiffServ все же не могут гарантировать такой же уровень QoS, какой можно получить в цифровых телефонных сетях, базирующихся на коммутации каналов (например, в ISDN). Вместе с тем, можно ожидать, что в будущих сетях доля служб, требующих такой уровень качества, будет относительно небольшой, тогда как для приложений с менее критическими требованиями к QoS модели и механизмы дифференцированных услуг будут способны обеспечить необходимый уровень качества обслуживания.

2.4. Эволюция сетей мобильной связи

Как уже отмечалось выше, переход к сетям подвижной связи третьего поколения будет сопровождаться увеличением спроса на доступ к мультимедийным услугам в любое время, в любом месте. Для того чтобы удовлетворить новые требования пользователей, в ряде регионов мира началось строительство сетей подвижной связи третьего поколения. В частности, в мире развертываются системы мобильной связи третьего поколения (3G) на базе технологии UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), которые должны заменить в будущем системы на базе стандарта GSM.

Система UMTS обеспечивает пользователя персональной связью, поддерживая доступ к новым видам услуг, среди которых важную роль будут играть интерактивные приложения. Система UMTS включает в свой состав конструктивные элементы для конвергенции фиксированных сетей и мобильных систем третьего поколения, чтобы гарантировать пользователю одинаково высокий уровень мультимедийных услуг как в фиксированных, так и в мобильных сетях. Новое поколение систем мобильной связи предлагает

массовому рынку персонализированную связь независимо от места расположения абонента, используемой сети или типа терминала.

Перечислим основные характеристики UMTS:

- достаточная пропускная способность для узкополосных и широкополосных услуг благодаря высокой эффективности использования радиоспектра и предоставлению полосы пропускания по требованию;
- скорость передачи, достаточная для мультимедийных услуг, характеризующихся пересылкой больших объемов информации и интерактивностью;
- качество речи, сопоставимое с качеством речи в фиксированных сетях, и высококачественные услуги при передаче данных;
- удобство доступа к услугам через виртуальную домашнюю среду, персонализированные услуги, усовершенствованный пользовательский интерфейс (например, на базе Web), повсеместное покрытие - от дома и офиса до любого места вне помещений.

Переход от GSM к UMTS. Система UMTS не будет абсолютно новой системой. Скорее всего, она может рассматриваться как развитие систем GSM, и при ее развертывании будет широко использоваться опыт систем второго поколения (рис. 2.7).

Фаза 2 GSM уже отвечает требованиям по поддержке мультимедийных услуг путем введения среднескоростных технологий с коммутацией каналов (HSCSD, EDGE) и эффективного метода коммутации пакетов (GPRS). Технология HSCSD комбинирует до восьми временных слотов GSM; технология EDGE представляет альтернативный радиоинтерфейс в пределах полосы частот GSM, что делает интерфейс EDGE совместимым с интерфейсом GSM. Однако из-за ограничений по полосе пропускания радиоинтерфейса ожидается, что эти услуги будут предлагаться на рынке не столь широко. Используя такие средства, как CAMEL, SIM Toolkit и Mobile Station Application Execution Environment (Мобильная среда выполнения приложений), стандарт GSM также обеспечивает базу для реализации концепции виртуальной домашней среды.

Два требования (которые в настоящее время пока не могут быть реализованы на базе стандарта GSM) должны быть выполнены для эффективного и массового продвижения мобильных мультимедийных

приложений - достаточная полоса частот и гибкость служб транспортировки информации:

- требование к полосе пропускания связано с возможностями сети радиодоступа и магистральной сети по обеспечению в радиоинтерфейсе скоростей передачи до 2 Мбит/с;
- отделение управления вызовом от непосредственно соединения и управления переносом информации составляет существо второго требования. Вызов/сеанс могут включать в себя множество соединений и использовать один или несколько каналов. Необходимо обеспечить возможность добавлять или удалять соединения или каналы по запросу пользователя во время вызова (например, удалять участника конференции, изменять показатели качества обслуживания QoS) или контролировать события, происходящие в радиоканале (например, передачу управления в соту с меньшей пропускной способностью информационного канала).

Что касается поддержки услуг, в UMTS будут стандартизованы сервисные возможности, а не сами услуги (в отличие от GSM). Сервисные возможности включают в свой состав транспортные службы (службы ПД с коммутацией каналов и с коммутацией пакетов) и механизмы, необходимые для реализации услуг.

Эти стандартизированные возможности обеспечивают единую платформу, позволяющую поддерживать речь, видео, мультимедийный трафик, передачу сообщений, данных, пользовательские приложения и дополнительные услуги. Рынок услуг, комбинирующих эти возможности, определяется сервис-провайдерами и пользователями. Кроме того, такой подход уменьшает время, необходимое для развертывания новых видов услуг, давая операторам возможность конкурировать на уровне услуг.

В то же время уже сегодня все большее применение находят системы WiMAX, которые поддерживают существенно более высокие скорости передачи данных, чем в системах 3G (см. р. 2.1); на базе этой технологии могут быть организованы городские беспроводные сети с возможностями, превышающими потенциал сетей 3G. Наконец, активно идут разработки технологий для крупномасштабных беспроводных сетей нового поколения (4G), получивших название LTE (Long-Term Evolution). Эволюция мобильных систем иллюстрируется на Рис. 2.7.

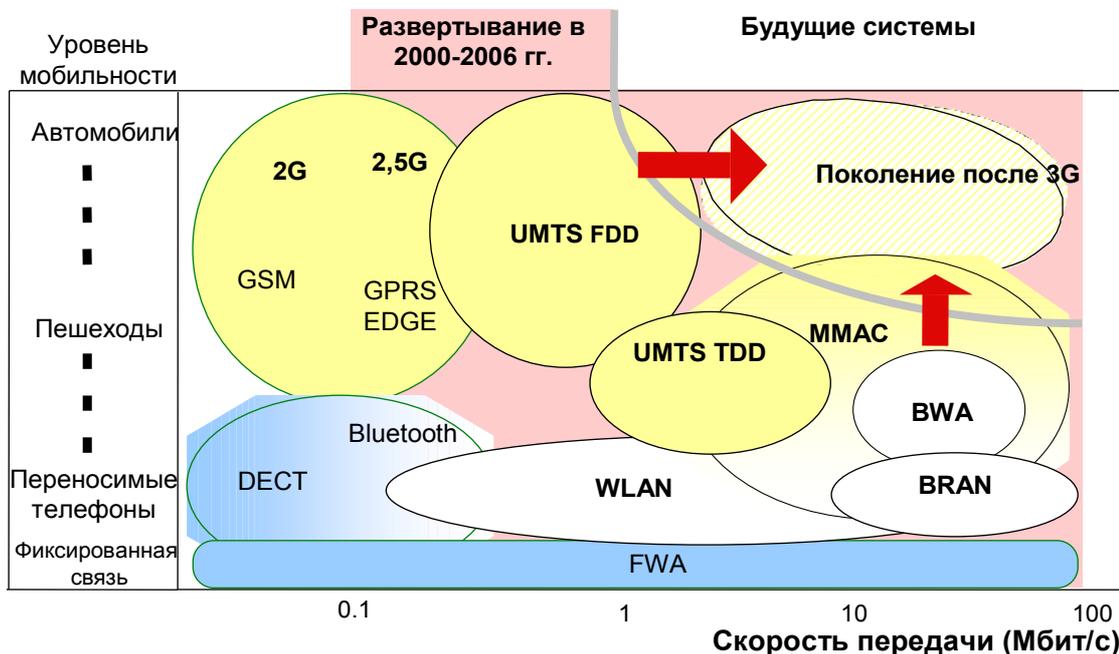


Рис. 2.7. Эволюция систем подвижной связи:

2G, 2,5G, 3G – поколения систем сотовой связи; GSM - General System of Mobile Communications (стандарт цифровых сетей сотовой связи второго поколения); GPRS – General Packet Radio System, Общая услуга пакетной радиосвязи; EDGE – Enhanced Data Rates for GSM Evolution, Высокоскоростная передача данных для перспективных сетей GSM; DECT – Digital Enhanced Cordless Telecommunications, Усовершенствованная система беспроводной связи; WLAN - Wireless LAN, Беспроводная локальная сеть; UMTS FDD – Universal Mobile Telecommunications Systems, Frequency Division Duplex, Система UMTS с дуплексным частотным разделением; UMTS TDD – UMTS, Time Division Duplex, Система UMTS с дуплексным временным разделением; MMAC – Multimedia Mobile Access Communications, Мультимедийный мобильный доступ; BWA – Broadband Wireless Access, Широкополосный беспроводной доступ; BRAN – Broadband Radio Access Network, Сеть широкополосного радиодоступа; FWA - Fixed Wireless Access, Фиксированный беспроводный доступ

Выводы по Части 2

Рассматриваются основные направления эволюции сетевых технологий в соответствии с моделью сети, предложенной Международным союзом электросвязи. Определены ключевые факторы, определяющие эволюцию сетей доступа – применение различных физических сред и необходимость развертывания систем широкополосного доступа. Описаны примеры систем широкополосного доступа для сетей на базе витой пары, коаксиального кабеля и широкополосного беспроводного доступа. Рассматривается эволюция систем

передачи от систем с частотной модуляцией до систем с разделением по длине волны. Приведена характеристика двух основных систем распределения информации в транспортных сетях – технологии ATM и технологии Интернет и показана перспектива использования технологии Интернет в сетях следующего поколения. Рассматриваются вопросы качества обслуживания в сетях IP и описаны основные механизмы обеспечения гарантированных показателей QoS в сетях IP. Дана характеристика эволюции систем подвижной связи как переход от аналоговых систем (1G) к цифровым системам (2G и 3G).

Контрольные вопросы по Части 2

1. Дайте определение сети доступа.
2. Перечислите основные факторы, влияющие на эволюцию сетей доступа.
3. Перечислите основные технологии доступа в зависимости от физической среды.
4. Дайте общую характеристику семейства технологий xDSL.
5. Назовите основные характеристики технологии ADSL.
6. Почему технология ADSL получила широкое распространение в сетях доступа?
7. Назовите основные параметры систем KATV.
8. Назовите основные системы доступа на базе волоконно-оптических систем.
9. Назовите основные характеристики систем Wi-Fi (диапазон частот, скорости передачи, радиусы покрытия).
10. Назовите основные особенности систем WiMAX.
11. Назовите основные этапы эволюции систем передачи.
12. В чем разница между системами цифровой иерархии ПЦИ и СЦИ?
13. Что такое «способность к самовосстановлению»?
14. Объясните, в чем основные причины развития систем DWDM.
15. Объясните принцип каналообразования в системах DWDM.
16. Как эволюционируют сети доступа с позиций внедрения волоконно-оптических систем передачи?
17. Перечислите основные свойства технологии ATM.
18. Назовите параметры ячейки ATM.
19. Перечислите основные возможности технологии ATM как базы для мультисервисных сетей связи.
20. Назовите возможные применения технологии ATM в современных системах связи.
21. Перечислите основные этапы развития технологии Интернет.
22. Назовите основные свойства технологии Интернет, определившие успех ее развития в 90-х г.г.
23. Объясните ключевые факторы эволюции сетей Интернет.
24. Объясните основные проблемы использования Интернет как базы для построения современных сетей связи.
25. Определите понятие «качество обслуживания» для сетей Интернет.
26. Назовите основные направления эволюции сетей Интернет.
27. Объясните, какие проблемы сетей Интернет решаются с введением протокола IPv6.
28. Что такое “Best effort”?

29. В чем разница между различными типами трафика (голос, видео, данные и т.д.)?
30. Какие показатели качества обслуживания описываются в Рекомендации МСЭ Y.1540?
31. В чем измеряется надежность сети?
32. Дайте определения вероятностно-временных параметров качества обслуживания и приведите их нормированные значения.
33. Дайте характеристику механизмов QoS:
 - в плоскости контроля
 - в плоскости данных
 - в плоскости управления.
34. В чем состоит основная идея механизма IntServ?
35. Объясните механизм работы протокола RSVP.
36. Назовите основные механизмы, реализуемые в модели DiffServ.
37. Что такое SLA?
38. В чем разница между классами «срочная доставка» и «гарантированная доставка»?
39. Назовите основные этапы развития мобильных сетей связи.
40. Перечислите основные особенности систем UMTS.
41. Чем определяется необходимость перехода от сетей GSM к сетям UMTS?

Часть 3. Конвергенция фиксированных и мобильных сетей связи

3.1. Конвергенция сетей ТфОП/Интернет для голосовых услуг

В течение многих лет информационные и телекоммуникационные технологии развивались как два различных мира. Тем не менее, в последнее время термин "конвергенция" всё чаще и чаще появляется в контексте эволюции в информатике и телекоммуникациях. Этот термин включает в себя все те изменения в телекоммуникациях, которые касаются процессов развития и интеграции услуг и сетей, замещения старых технологий новыми и т.п. Процесс конвергенции в упомянутом смысле может иллюстрироваться множеством примеров в современных телекоммуникациях.

В общем, движущей силой конвергенции в электросвязи является развитие новых услуг. Конвергенция мотивируется желанием иметь однородную инфраструктуру для тех или иных услуг (например, в телефонии), даже когда эти услуги и поддерживаются различными техническими решениями. Эти решения могут быть основаны на телекоммуникационных или на компьютерно-информационных технологиях. Важно отметить, что конвергенция различных услуг может привести к увеличению возможностей одной отдельной услуги, что и происходит, например, в случае с мультимедийными приложениями. Несомненно, конвергенция услуг всегда будет предполагать определенный уровень конвергенции в технических системах, обеспечивающих эти услуги.

Имеется ряд областей в телекоммуникациях, где конвергенция в настоящее время уверенно заявила о себе. Наибольшее внимание сегодня уделяется конвергенции услуг телефонии и передачи данных, где традиционная телефонная сеть представляет собой одного участника процесса конвергенции, а сети передачи данных - другого.

Другое важное направление конвергенции относится к категории, определяемой термином «конвергенция фиксированных и подвижных сетей» (Fixed/Mobile Convergence, FMC). Здесь речь идет о конвергенции услуг, означающей, что абоненты могут получить услуги при любом доступе в сеть фиксированном или мобильном. Примером усиления мощности услуг на основе конвергенции, являются мультимедийные коммуникации, где в процессе сеанса связи для передачи информации могут использоваться голос, видео, графика и звук. В целом можно сказать, что процесс конвергенции определяется

желанием объединить вместе все направления современных телекоммуникаций и информационной индустрии.

3.2. Сети IP-телефонии на базе стандарта H.323

За последние годы объем речевого трафика увеличился незначительно, в то время как трафик данных растет с очень высокой скоростью. Напомним, что одной из причин является все большее применение Интернет как для обмена информацией, так и для бизнес-приложений. Рост трафика данных в квартирном секторе объясняется растущим числом ПК, подключенных к сети. В коммерческом секторе существует еще ряд причин, например, растущие масштабы глобализации, когда виртуальные коллективы работают вместе по всему земному шару и им требуется быстрый обмен данными. Для небольших учреждений эти процессы ограничиваются, главным образом, созданием и использованием одного сайта, тогда как крупные корпорации с множеством сайтов имеют потребность в применении территориально распределенных сетей. Масштабы применения сетей IP последние 15 лет постоянно растут (число пользователей, объемы трафика, применимость для большого числа приложений) и поэтому в 90-х г.г. прошлого века начала активно обсуждаться проблема возможности передачи голосового трафика через Интернет.

Для передачи речи в сетях IP (Voice over IP, VoIP, IP-телефония) был предложен ряд международных стандартов как Международным союзом электросвязи (МСЭ), так и Комитетом IETF. В настоящее время используются, в основном, два стандарта: один описан в Рекомендации МСЭ H.323; в стандарте RFC 2543 (IETF) описан протокол SIP

Исторически первой рекомендацией для построения сетей IP-телефонии стала Рекомендация H.323, разработанная МСЭ в качестве рекомендации для построения систем мультимедийной связи. Рекомендация H.323 описывает несколько протоколов, основными функциями которых являются организация, поддержание и разъединение сеансов связи в мультимедийных сетях. Таким образом, Рекомендация H.323 описывает процессы пятого уровня (сессионного) в эталонной модели Взаимосвязи Открытых Систем (ВОС). В Рекомендации H.323 определены основные элементы для построения систем мультимедийной связи (Рис. 3.1):

- терминал (Terminal);
- шлюз (Gateway);

- привратник (Gatekeeper);
- устройство управления конференциями (Multicast Unit).

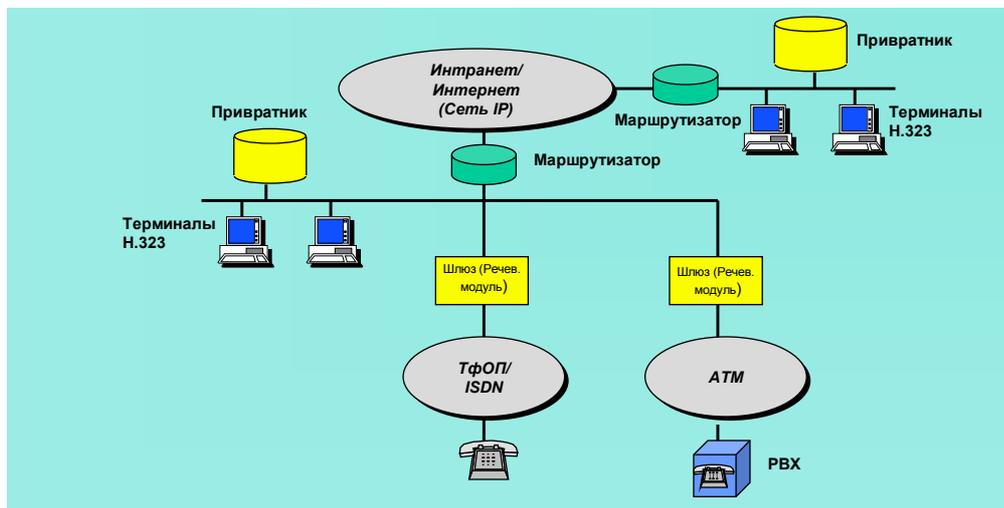


Рис. 3.1. Компоненты сети на базе H.323

В состав **терминала**, определяемого рекомендацией H.323, входит блок управления, который обеспечивает функции сигнализации для установления и управления вызовом, а также коммуникационные функции по отношению к привратнику. Для обработки голоса требуется речевой кодек, преобразующий аудиосигнал в пакеты данных. Ряд кодеков был стандартизован для использования в терминалах H.323. Выбор кодека обычно осуществляется на фазе установления соединения между терминалами. Кроме того, в терминале реализованы механизмы для транспортировки трафика данных реального времени через сети IP, такие, как RTP (Real-Time Transport Protocol) и RTCP (Real-Time Control Protocol). В зависимости от приложений в терминале могут использоваться дополнительные функциональные устройства, например видео кодек.

Привратник является центральным блоком управления в системе H.323. Привратник контролирует работу терминалов, подключенных к сетям, и обеспечивает терминалам возможность регистрироваться внутри сети. Он также управляет распределением адресов между терминалами, отвечающих

рекомендации ITU-T E.164, так что терминалы могут быть адресованы вне системы IP.

Третьим компонентом является **шлюз**. Шлюз выполняет функции моста между сетями ТфОП и IP. Основной функцией шлюза является преобразование информации, поступающей со стороны ТфОП, в формат, пригодный для передачи по IP-сетям и обратный процесс: кодирование информации в соответствующем кодеке, подавление пауз в разговоре, упаковка информации в пакеты RTP/UDP/IP. Кроме того, шлюз должен уметь поддерживать обмен сигнальными сообщениями как с коммутационным или терминальным оборудованием ТфОП, так и с привратником или терминалом H.323.

Шлюз отвечает за отображение сигнального протокола H.323 в протокол, используемый в сети ТфОП. При соединении шлюза и сети ТфОП необходимо отобразить адреса E.164, применяемые в телефонной сети, в адреса IP, используемые в системе H.323. Существуют различные способы решения этой задачи, однако здесь описаны только основные принципы. Для адресации терминала H.323 из сети общего пользования ему должен быть присвоен определенный номер в соответствии с рекомендацией E.164. В общем, набор адресов E.164 назначается в шлюзе и отображение E.164 для терминала H.323, т.е. IP-адресация, выполняется привратником во время фазы регистрации. При этом предполагается, что шлюз должен взаимодействовать с привратником для поиска отображения адреса всякий раз, когда он получает вызов определенного адреса E.164 из сети ТфОП. Шлюз затем получает соответствующий IP-адрес для этого вызова и может начать фазу установления вызова с терминалом H.323.

В обратном направлении к сети ТфОП шлюз может быть стандартной точкой назначения для всех вызовов, которые не могут быть обработаны внутри системы H.323. Наконец, может возникнуть необходимость перекодировать речь и видеосигналы из формата H.323 в формат другой сети.

Четвертым элементом системы H.323 является **устройство управления конференциями**. Рекомендация H.323 предусматривает три вида конференций.

Первый вид – централизованная конференция, в которой оконечные устройства соединяются в режиме «точка-точка» с устройством управления конференциями, контролирующим процесс формирования и завершения

конференции, а также обрабатывающим потоки пользовательской информации.

Второй вид – децентрализованная конференция, в которой каждый ее участник соединяется с остальными участниками в режиме «точка-группа точек», и оконечные устройства сами обрабатывают (переключают или смешивают) потоки информации, поступающие от других участников конференции. Наконец, третий вид – смешанная конференция, т.е. комбинация двух предыдущих видов.

Преимущество централизованной конференции - сравнительно простые требования к терминальному оборудованию, недостаток – большая стоимость устройства управления конференциями. Для децентрализованной конференции требуется более сложное терминальное оборудование; кроме того, желательно, чтобы в сети поддерживалась передача пакетов IP в режиме многоадресной рассылки (IP multicasting). Если сеть не поддерживает этот режим, терминал может передавать информацию к каждому из остальных терминалов, участвующих в конференции, в режиме «точка-точка», но это становится неэффективным при числе участников более четырех.

Большая часть стандартов кодирования, используемых в сети ТфОП для передачи речи, применяется в речевых кодеках H.323, так что имеется возможность применять один и тот же стандарт на основе предварительных соглашений. Необходимо, однако, иметь в виду, что каждая процедура перекодирования ухудшает качество речевых и видеосигналов, поэтому число таких преобразований должно быть сведено к минимуму.

Во время фазы установления соединения терминалы должны регистрироваться привратником, чтобы их адреса IP были известны. Для этого терминалы должны сначала обнаружить привратника. Это достигается путем использования заранее определенного многоточечного адреса. Терминалы передают в вещательном режиме сообщение по этому адресу, и привратник передает в ответ определенный набор служебных символов. Затем терминал регистрируется в привратнике и информация о новом терминале распределяется на все другие терминалы, подключенные к системе. Привратник и шлюз обмениваются информацией с помощью протокола MGCP (Media Gateway Control Protocol), стандартизированного ITU/IETF.

На Рис. 3.2-3.4 показаны различные механизмы связи между терминалами H.323 на базе ПК и телефонами сети ТфОП.

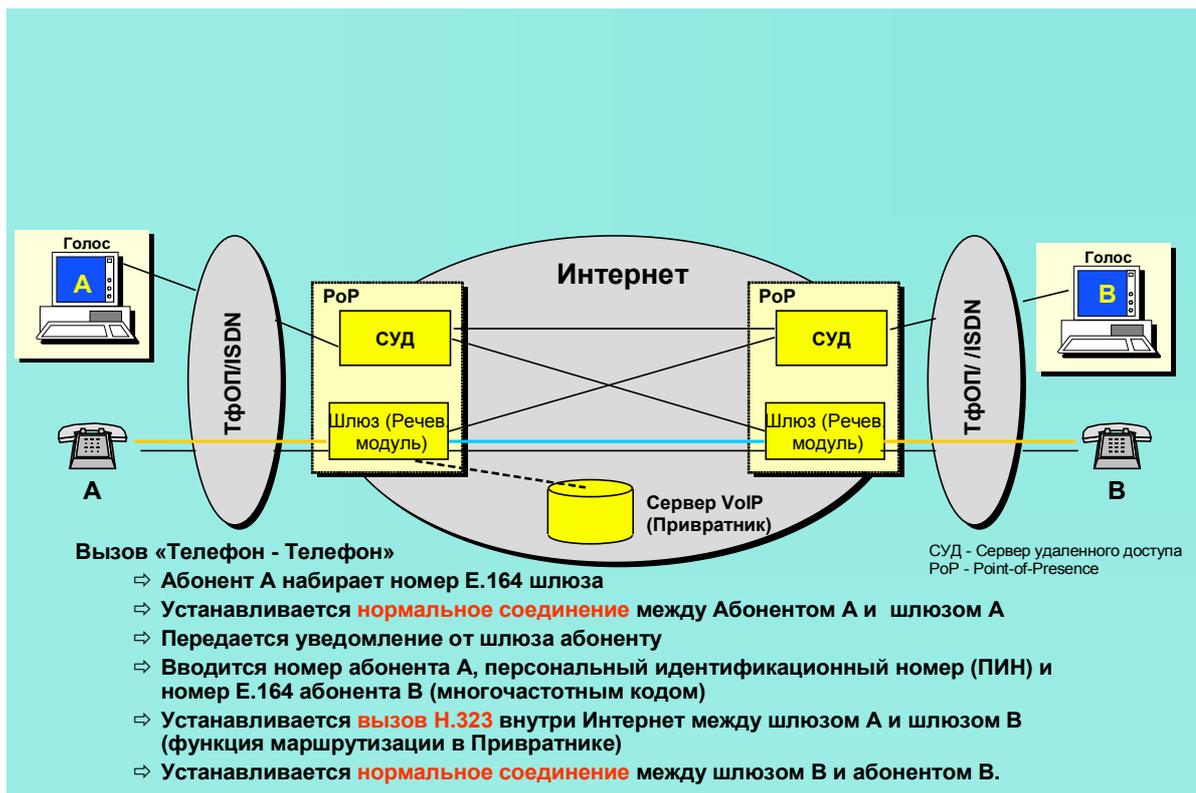


Рис. 3.2. Передача голоса в конфигурации “телефон-телефон”

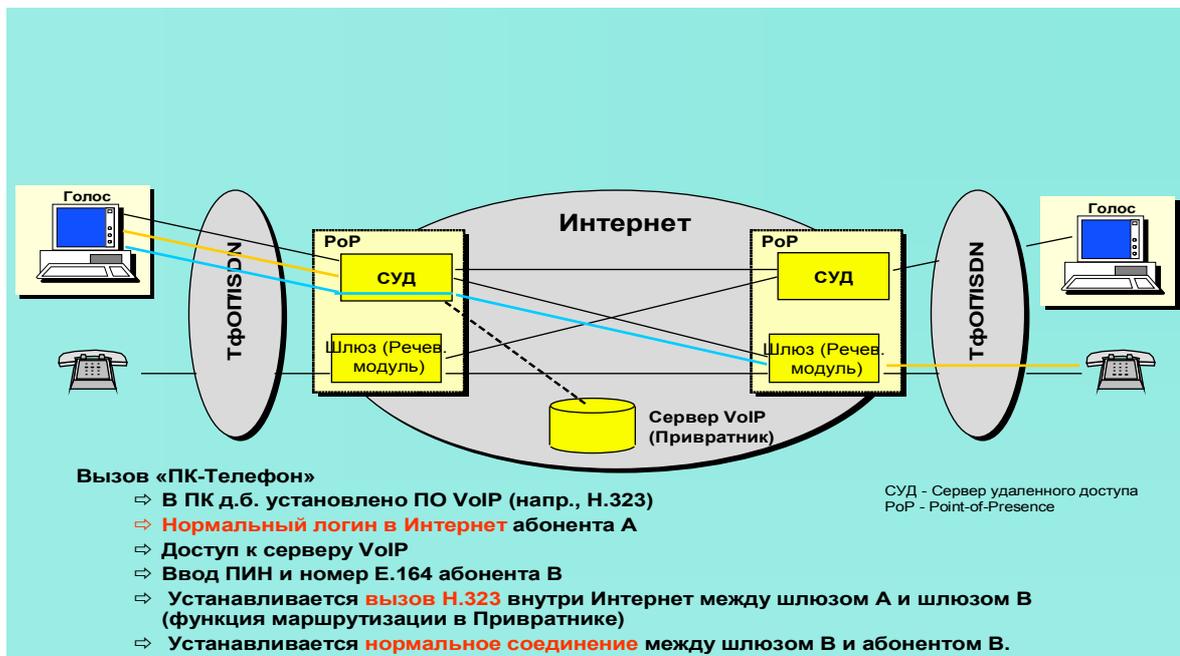


Рис.3.3. Передача голоса в конфигурации “ПК- телефон”

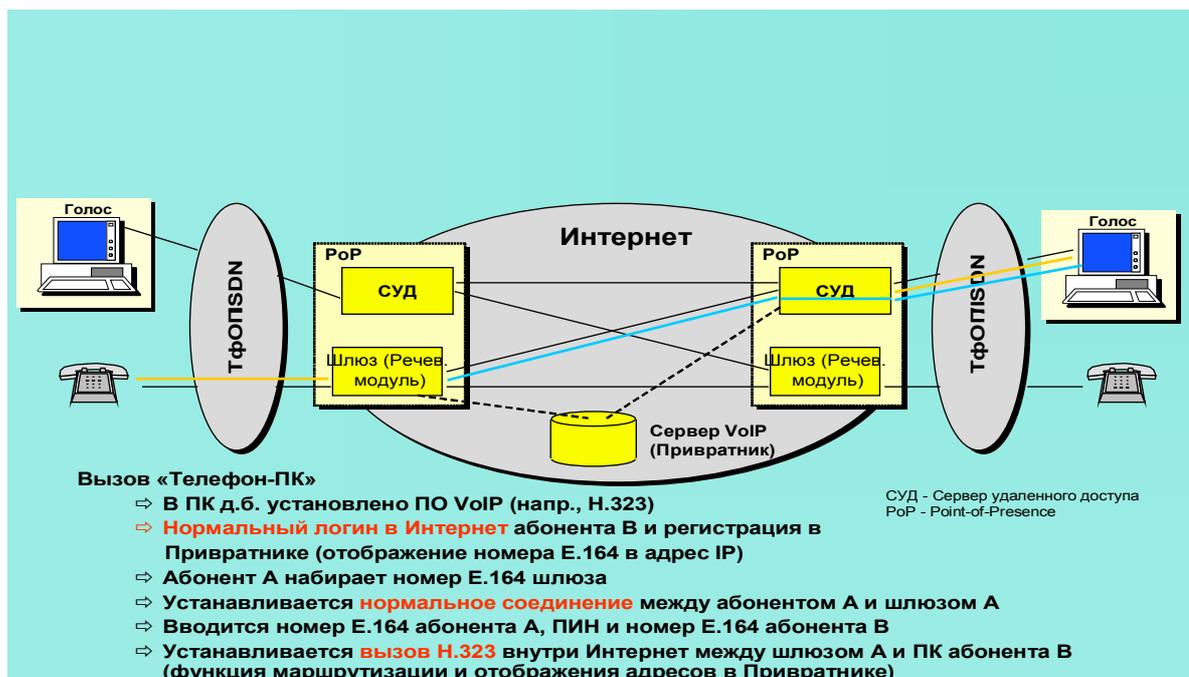


Рис. 3.4. Передача голоса в конфигурации “телефон-ПК”

3.3. Сети IP-телефонии на базе протокола SIP

3.3.1. Архитектура сети SIP

Протокол инициирования сеансов протокола - Session Initiation Protocol (SIP), является протоколом пятого (прикладного) уровня модели процессов IETF. Как и Рекомендация H.323, протокол SIP решает те же задачи организации, поддержания и завершения сеансов связи в мультимедийных сетях, включая телефонную связь, передачу данных и распределение мультимедийной информации. Протокол SIP может быть использован совместно с протоколом H.323 и с системами сигнализации сети ТфОП.

Сеть SIP содержит следующие основные элементы:

- Агент пользователя (User Agent или SIP client)
- Прокси-сервер (proxy server)
- Сервер переадресации (redirect server)
- Сервер определения местоположения (location server)

Агент пользователя реализуется в терминальном оборудовании и состоит из двух подсистем: клиента агента пользователя (User Agent Client – UAC) и сервера агента пользователя (User Agent Server – UAS), часто называемых клиентом и сервером. Клиент UAC инициирует SIP-запросы, т.е. выступает в качестве вызывающей стороны. Сервер UAS принимает запросы и отвечает на них, т.е. выступает в качестве вызываемой стороны. Запросы могут

передаваться не прямо адресату, а на некоторый промежуточный узел. Этот узел может быть реализован в виде двух основных типов: прокси-сервер и сервер переадресации.

Прокси-сервер принимает запросы, обрабатывает их и отправляет дальше на следующий сервер, который может быть как другим прокси-сервером, так и терминалом UAS. Приняв запрос от UAC, прокси-сервер самостоятельно действует от имени этого UAC. Прокси-сервер может реализовать два режима: с сохранением состояний (stateful) и без сохранения состояний (stateless). Сервер первого типа хранит в памяти входящие запросы, которые находятся в памяти сервера только до окончания транзакций (сеансов). Сервер без сохранения состояний просто ретранслирует запросы и ответы, которые получает. Он работает быстрее, чем сервер первого типа, так как ресурс процессора не тратится на запоминание состояний, вследствие чего сервер этого типа может обслужить большее количество пользователей.

Сервер переадресации (redirect server) передает клиенту в ответе на запрос адрес следующего сервера или клиента, с которым первый клиент связывается затем непосредственно. Сервер переадресации не может инициировать собственные запросы и только выполняет функции поиска текущего адреса пользователя.

Сервер определения местоположения используется для фиксации местоположения пользователя при перемещении последнего от одной оконечной системы к другой. Сервер является базой адресов, к которой имеют доступ SIP-серверы, описанные выше. Приняв запрос, SIP-сервер обращается к серверу определения местоположения, чтобы узнать адрес, по которому можно найти пользователя. В ответ тот сообщает либо список возможных адресов, либо информирует о невозможности найти их. На Рис. 3.5 представлена архитектура сети на базе протокола SIP.

3.3.2. Сообщения SIP

Согласно архитектуре «клиент-сервер» все сообщения делятся на запросы, передаваемые от клиента к серверу, и на ответы сервера клиенту. Чтобы инициировать установление соединения, вызывающий пользователь должен сообщить серверу адрес вызываемого пользователя, параметры информационного канала и др. Эти данные передаются в специальном запросе. От вызываемого пользователя к вызывающему передается ответ на

запрос. Вся информация, необходимая для установления соединения, помещается в заголовке. Заголовок содержит адреса вызываемого и вызывающего пользователей, пройденный сообщением путь, размер сообщения и т.д.

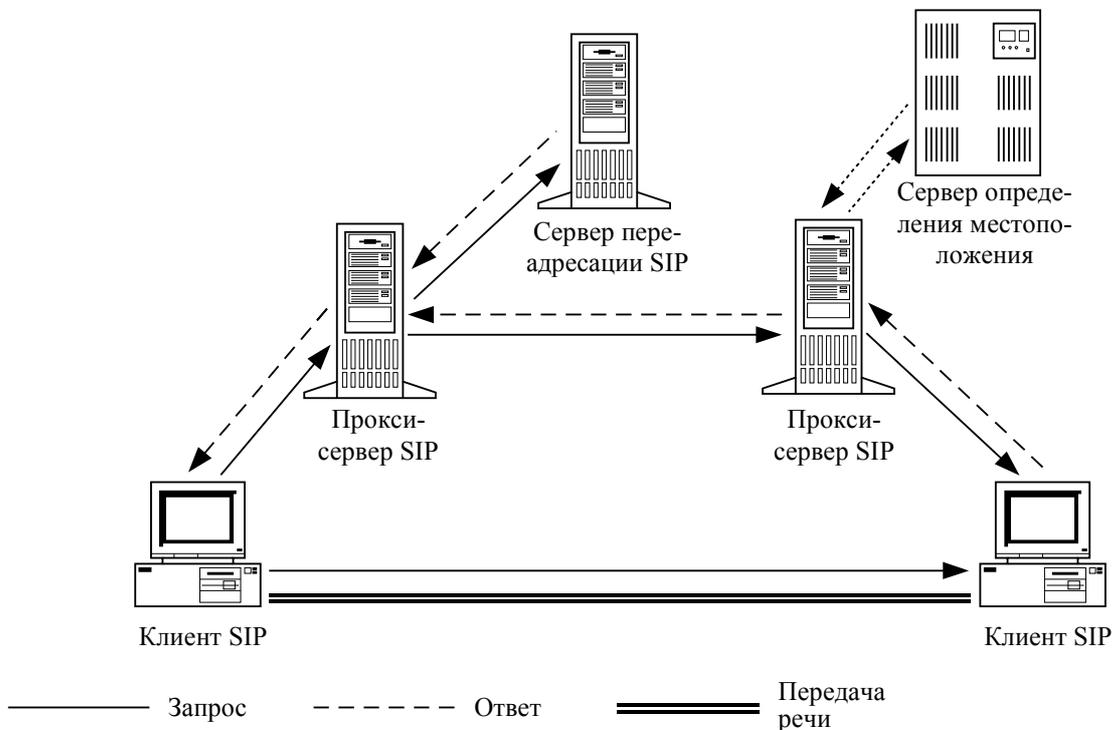


Рис. 3.5. Архитектура сети SIP

Запросы. С помощью запросов клиент сообщает о текущем местоположении, приглашает пользователей принять участие в сеансах связи, модифицирует уже установленные сеансы, завершает их и т.д. Рассмотрим описание некоторых запросов:

INVITE – приглашение со стороны вызывающего пользователя принять участие в сеансе связи. В приглашении указываются тип сообщения и параметры, необходимые для приема сообщения. В ответе на запрос INVITE указывается тип информации, которая будет приниматься вызываемым пользователем, и может указываться тип информации, которую вызываемый пользователь собирается передавать;

- ACK – подтверждение приема от вызываемой стороны на команду INVITE и завершение транзакцию;
- BYE – разъединение соединения;
- REGISTER – применяется клиентами для регистрации данных о местоположении с использованием серверов SIP.

Ответы. После приема запроса, адресат (сервер) передает ответ на этот запрос. Ответы могут включать в себя подтверждение установления соединения, передачу запрошенной информации, сведения о неисправностях и т.д. Определено шесть типов ответов; каждый тип ответа кодируется трехзначным числом. Первая цифра определяет вид ответа, остальные две цифры лишь дополняют первую.

Все ответы делятся на две группы: информационные и финальные. Информационные ответы начинаются с единицы и показывают, что запрос находится в стадии обработки. Финальные ответы начинаются с цифр 2, 3, 4, 5 и 6: они означают завершение обработки запроса и содержат результат обработки запроса. Ниже приведены примеры различных ответов:

- 1xx (информационный) – запрос принят, продолжается его обработка;
- 2xx (успех) - запрос принят, понят и успешно обработан;
- 3xx (переадресация) – для завершения обработки запроса нужны дальнейшие действия;
- 4xx (ошибка клиента) – запрос содержит ошибку и не может быть выполнен;
- 5xx (ошибка сервера) – сервер не может выполнить явно правильный запрос;
- 6xx (глобальный сбой) – запрос не может быть обработан никаким сервером.

3.3.3. Сценарии сеансов в сети SIP

Перед началом сеанса связи вызывающий терминал (UAC) должен знать либо адрес вызываемого терминала, либо адрес SIP-сервера. Если адрес представлен в виде user@domain, тогда необходимо преобразовать его в IP-адрес в числовой форме. Если прямого адреса пользователя нет, пользователь обращается к прокси-серверу или к серверу переадресации. На Рис. 3.6 и 3.7 представлены сценарии установления соединения через прокси-сервер и сервер переадресации.

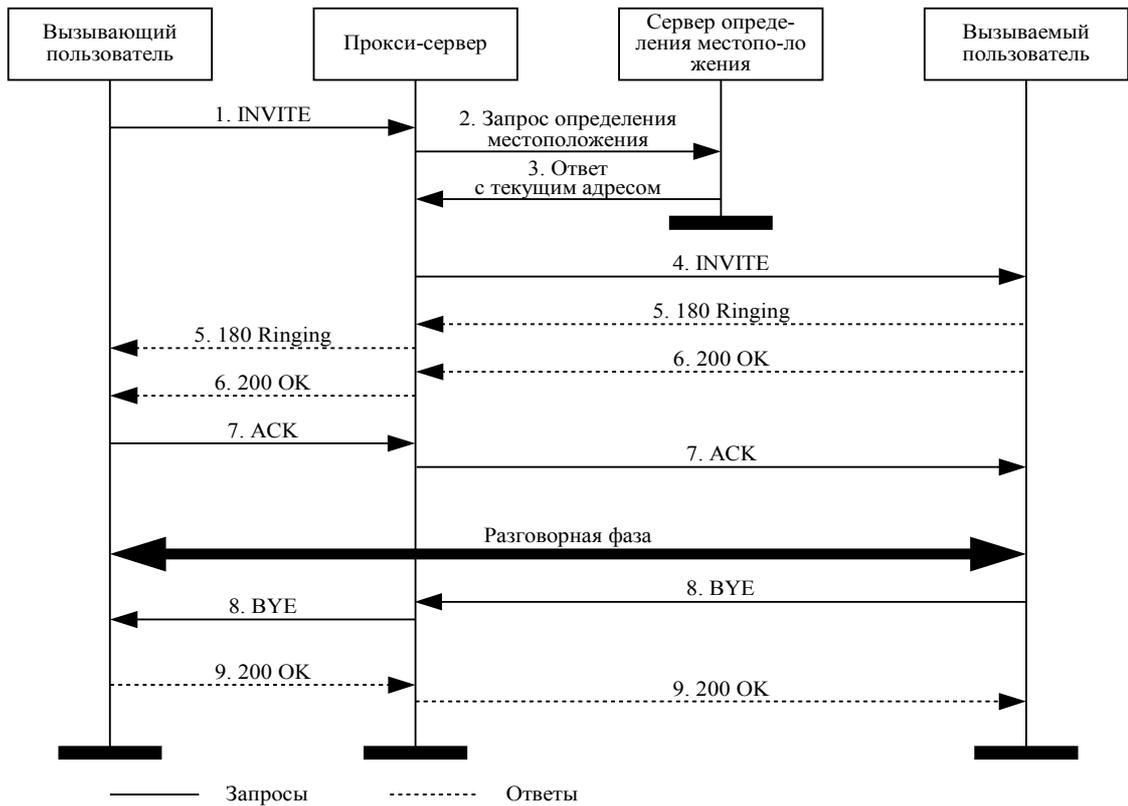


Рис. 3.6. Сценарий установления соединения через прокси-сервер

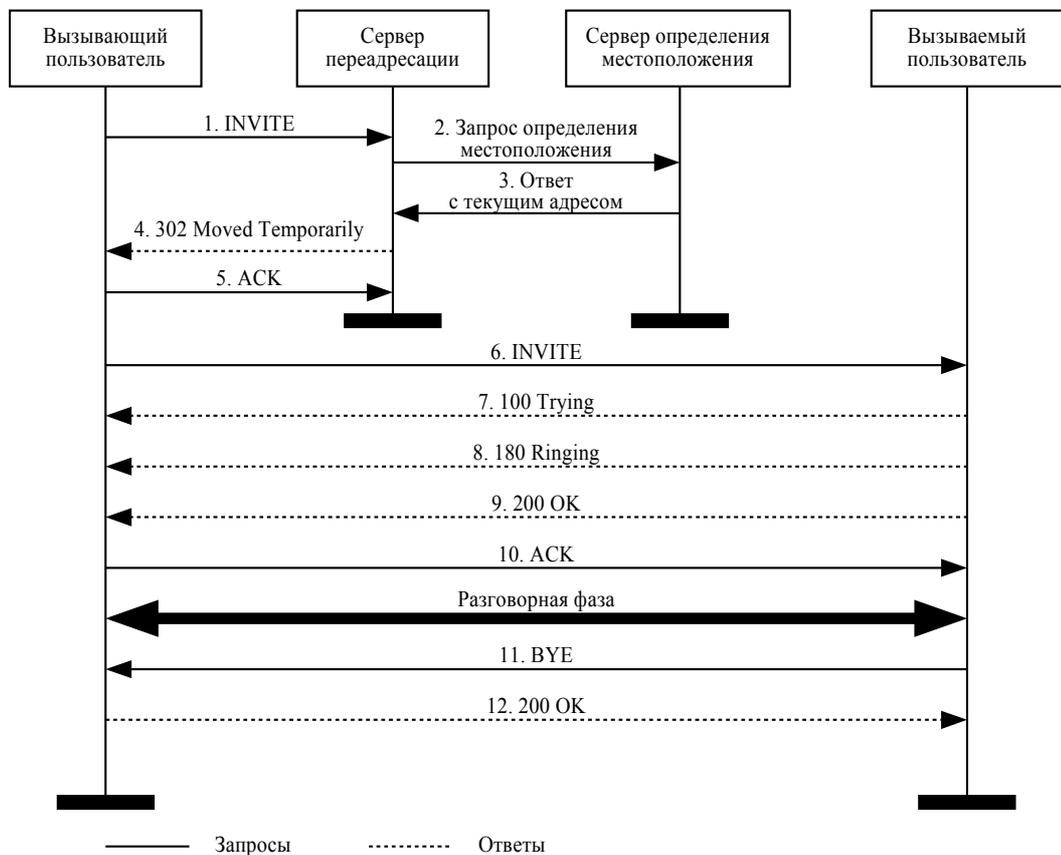


Рис. 3.7. Сценарий установления соединения через сервер переадресации

В заключение раздела, посвященного описанию протокола SIP, отметим, что этот протокол становится все более популярным, поскольку он разрабатывался для сетей IP. В то же время протокол H.323 разрабатывался для мультисервисных сетей начала 90-х г.г., когда в качестве основной технологии для таких сетей рассматривалась технология ATM и этот протокол является существенно более сложным, чем SIP.

3.4. Оценка качества обслуживания в сетях VoIP

3.4.1. Введение

При оценке качества услуг в сетях VoIP необходимо учитывать, что требования к сетевым характеристикам со стороны приложений данных и приложений, связанных с передачей голоса, существенно различаются. Например, при передаче больших массивов данных необходима большая полоса частот, данные критичны к потерям и при этом могут быть не критичны к задержкам. В противоположность этому, для приложений VoIP требуются относительно небольшие сетевые ресурсы, но эти приложения критичны и к задержкам, и к вариациям задержек и менее чувствительны (по сравнению с данными) к потерям. Даже в тех случаях, когда данные и речь передаются в одной и той же сети, голосовой трафик и трафик данных не могут обрабатываться одинаково в силу ряда причин, в том числе:

- пакеты речи и данных имеют различные длины;
- пакеты речи и данных передаются с разными скоростями;
- пакеты речи и данных обрабатываются в узлах и доставляются получателю с использованием различных механизмов и протоколов;
- сообщения электронной почты или массивы данных могут быть задержаны на десятки минут без влияния на оценку качества обслуживания, тогда как задержки, равные нескольким сотням миллисекунд (мс) могут привести к значительным искажениям речевого сигнала, доставленного с помощью технологии VoIP.

Исходным требованием при развертывании приложений VoIP является следующее: качество речи при использовании VoIP должно быть таким же, как и в ТфОП. Отметим, что уровень качества в сети ТфОП иногда называется уровнем качества междугородного соединения и является наивысшим уровнем качества доставки речи в сетях электросвязи. Как известно, качество обслуживания определяется набором сетевых параметров, в число которых

входят пропускная способность сети, надежность сети/ сетевого оборудования, задержки, вариации задержки (джиттер) и потери пакетов.

До недавнего времени согласованные количественные оценки, определяющие качество передачи речи в сетях связи с учетом того, как это воспринимается пользователем, отсутствовали. Первоначально МСЭ предложил подход (Рекомендации МСЭ Р.800), в основе которого лежали субъективные оценки качества передачи речи (такие, как «отличное качество», «хорошее качество», «приемлемое качество» и т.д.). Субъективные оценки, к сожалению, не могут быть точно соотнесены с сетевыми характеристиками, которые используются при проектировании и эксплуатации сетей. Не могут быть они точно сопоставлены и процессам, реализуемым в терминальном оборудовании (т.е., вне сети). Речь идет об алгоритмах сжатия, схемах кодирования, механизмах защиты информации, восстановления данных и т.д. Тем не менее, субъективные оценки использовались в течение многих лет как единственный подход к оценке качества в телефонных сетях и в определенной степени сохраняют свое значение сегодня. В 1998 г. МСЭ стандартизировал подход, основанный на объективных оценках качества обслуживания, который позволяет описать показатели качества при передаче речи в пакетной форме (Рекомендация МСЭ G.107). Далее рассматриваются оба подхода, но основное внимание уделяется анализу Рекомендации G.107.

3.4.2. Субъективная оценка качества обслуживания при передаче речи

Первичным критерием качества аудио и видео информации является восприятие (перцепция) качества услуги пользователем. Определение качества услуг может базироваться как на субъективных, так и на объективных оценках. Наиболее широко используемая методика субъективной оценки качества описана в Рекомендации МСЭ Р.800 и известна как методика MOS (Mean Opinion Score). В соответствии с методикой MOS качество речи, получаемое при прохождении сигнала от говорящего (источник) через систему связи к слушающему (приемник), оценивается как арифметическое среднее от всех оценок, выставляемых экспертами после прослушивания тестируемого тракта передачи.

Экспертные оценки определяются в соответствии со следующей пятибалльной шкалой: 5 – отлично, 4 – хорошо, 3 – приемлемо, 2 – плохо, 1 – неприемлемо. Оценки 3,5 балла и выше соответствуют стандартному и

высокому телефонному качеству, 3,0...3,5 - приемлемому, 2,5...3,0 - синтезированному звуку. Для передачи речи с хорошим качеством целесообразно ориентироваться на значения MOS не ниже 3,5 баллов.

Хотя методика MOS, основанная на субъективных оценках, является достаточно надежным инструментом в телефонных сетях, получение таких оценок связано с большими затратами – как временными, так и финансовыми. Кроме того, при использовании пакетных сетей для передачи речи возникают проблемы с прямым применением модели MOS, разработанной для телефонных сетей. Естественно, что эта модель не учитывает ряд явлений, типичных для сетей передачи данных и влияющих на качество речи в системах VoIP. В модели MOS отсутствует возможность количественно учесть влияющие на качество речи факторы. В частности, не учитываются:

- сквозная (end-to-end) задержка между говорящим по телефону и слушающим
- влияние вариации задержки (джиттера)
- влияние потерь пакетов.

Кроме того, модель MOS представляет оценку качества в однонаправленном соединении, а не в двух направлениях реального телефонного соединения. Все это потребовало разработки новых моделей оценки качества передачи речи, учитывающих особенности пакетных сетей.

3.4.3. Объективная оценка качества обслуживания при передаче речи в пакетных сетях

Для преодоления указанных недостатков в 1998 г МСЭ принял Рекомендацию G.107, в которой был описан подход к объективной оценке качества услуг в телекоммуникациях. В основу подхода положена так называемая E-модель, которая открыла новое направление в оценке качества услуг, связанное с измерением характеристик терминалов и сетей. После создания E-модели было проведено большое число испытаний, в которых менялся уровень воздействия искажающих сетевых факторов. Данные этих тестов были использованы в E-модели для вычисления объективных оценок. Результатом вычислений в соответствии с E-моделью является число, называемое R-фактором (так называемым «коэффициентом рейтинга»). Значения R-фактора однозначно сопоставляются с оценками MOS (см. Таблицу 3.1 и Рисунок 3.8).

В соответствии с E-моделью R-фактор определяется в диапазоне значений от 0 до 100, где 100 соответствует самому высокому уровню качества. При расчете R-фактора учитываются 20 параметров. В состав этих параметров входят:

- однонаправленная задержка,
- коэффициент потери пакетов,
- потери данных из-за переполнения буфера джиттера,
- искажения, вносимые при преобразовании аналогового сигнала в цифровой и последующем сжатии (обработка сигнала в кодеках),
- влияние эхо и др.

Таблица 3.1. Оценка QoS на основе R-фактора и оценок MOS

Значение R-фактора	Категория качества и оценка пользователя	Значение оценки MOS
90<R<100	Самая высокая (Отлично)	4,34 – 4,50
80<R<90	Высокая (Хорошо)	4,03 – 4,34
70<R<80	Средняя (приемлемо: часть пользователей оценивает качество как неудовлетворительное)	3,60 – 4,03
60<R<70	Низкая (плохо: большинство пользователей оценивает качество как неудовлетворительное)	3,10 – 3,60
50<R<60	Неприемлемая (не рекомендуется)	2,58 – 3,10

Таким образом, E-модель и R-фактор могут быть использованы для объективной оценки качества передачи речи в технологии VoIP. Как только R-фактор получен, могут быть вычислены соответствующие оценки MOS. Вычисление R-фактора начинается для случая, когда искажения сигнала в канале не учитываются, а принимаются во внимание искажения, которые имеют место при преобразовании реальной речи в электрический сигнал (и обратно). Теоретическое значение R-фактора уменьшается от 100 до величины, равной 93,2, которая соответствует оценке MOS, равной 4,4. Таким образом, при использовании E-модели оценка 4,4 в системе MOS является максимально возможной оценкой качества речи в сети без искажений. Величина R-фактора меняется от 0 до 93,2, что соответствует изменению оценок MOS от 1 до 4,4. Значение R-фактора определяется по следующей формуле:

$$R = R_0 - I_s - I_d - I_e + A,$$

где

$R_0 = 93,2$ – исходное значение R-фактора;

I_s - искажения, вносимые кодеками и шумами в канале;

I_d - искажения за счет суммарной сквозной задержки (“из конца в конец”) в сети;

I_e - искажения, вносимые оборудованием, включая и потери пакетов;

A – так называемый фактор преимущества. Например, мобильные пользователи могут соглашаться с низким уровнем качества, получая дополнительные удобства. В большинстве случаев расчета R-фактора параметр A принимается равным нулю.

Оценки MOS

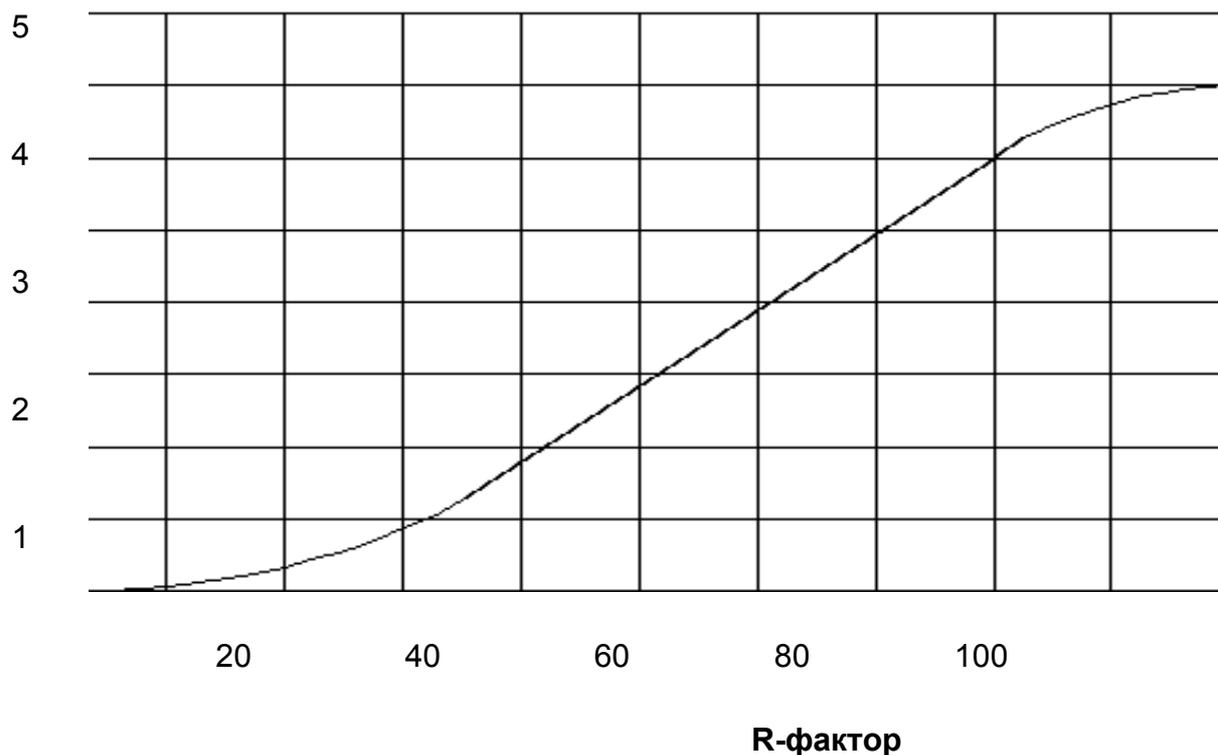


Рисунок 3.8. Зависимость между оценками MOS и R-фактором

3.4.4. Анализ факторов, влияющих на качество речи в пакетных сетях

А. Влияние кодеков на качество пакетизированной речи

При расчете R-фактора одна из составляющих - I_s , уменьшающая значение R-фактора, определяется искажениями, возникающими в кодеке при пакетизации речевого сигнала. Качество передачи речи в сетях с коммутацией пакетов в последние годы было значительно улучшено путем создания эффективных кодеков, обеспечивающих хорошую разборчивость речевого сигнала на приемном конце. В состав этих методов входят:

- методы эффективного кодирования речи (рекомендации ITU-T серии G.7xx);

- механизмы подавления пауз (механизм кодирования речи при прерывистой передаче, известный как Voice Activity Detection, VAD);
- механизмы эхоподавления (рекомендация МСЭ G.164) и эхокомпенсации (рекомендации МСЭ G.165 и G.168);
- механизмы маскирования ошибок (packet loss concealment), обеспечивающие компенсацию пробелов в речевом потоке, вызванных потерей отдельных пакетов.

Характеристики речевых кодеков. При обработке аудио (и видео) информации используются специальные устройства – кодеки. На передающей стороне кодек преобразует аналоговый сигнал в цифровой и на приемной стороне кодек выполняет обратное преобразование. Сегодня имеется большой набор эффективных кодеков с различными характеристиками. В Таблице 3.2 представлены характеристики кодеков соответствующих стандартам МСЭ-Т. Исторически первый тип кодека, известный как G.711 (версии G.711a и G.711u, скорость выходного сигнала кодека - 64 кбит/с), преобразует аналоговый сигнал в цифровой с очень высоким качеством и без применения операции сжатия. Однако, при этом требуется значительная пропускная способность по сравнению с кодеками, в которых осуществляется сжатие информации. При создании первых кодеков (70-е гг.) технология современных цифровых сигнальных процессоров (DSP) была недоступна. Сегодня, на базе DSP возможно построить весьма эффективные кодеки со значительно меньшими требованиями к пропускной способности тракта передачи.

Низкоскоростные кодеки требуют существенно меньшие значения пропускных способностей, однако оказывают значительно большее влияние на качество речевого сигнала по сравнению с высокоскоростными кодеками, определяемое потерями при высоких коэффициентах сжатия.

Меньшая пропускная способность означает, что можно организовать большее число телефонных соединений по одному и тому же тракту, но при этом уменьшается разборчивость речи, возрастают задержки и качество речи становится более чувствительно к потере пакетов. В Таблице 3.3 представлены оценки качества речи на базе R-фактора и оценки MOS для некоторых типов кодеков МСЭ-Т.

Таблица 3.2. Типы речевых кодеков и их характеристики

Кодек	Скорость передачи, кбит/с	Длительность датаграммы, мс	Задержка пакетизации, мс	Полоса пропускания для двунаправленного соединения, кГц	Задержка в буфере джиттера	Теоретическая максимальная оценка MOS
G.711u	64	20	1	174,4	2 датаграммы, 40 мс	4,4
G.711a	64	20	1	174,4	2 датаграммы, 40 мс	4,4
G.726-32	32	20	1	110,4	2 датаграммы, 40 мс	4,22
G.729	8	20	25	62,4	2 датаграммы, 40 мс	4,07
G.723m	6,3	30	67,5	43,73	2 датаграммы, 60 мс	3,87
G.723a	5,3	30	67,5	41,6	2 датаграммы, 60 мс	3,69

Таблица 3.3. Качество речи для различных типов кодеков (оценки на базе R-фактора и модели MOS)

Кодек	Скорость передачи, кбит/с	R-фактор	MOS
G.711	64	93,2	4,4
G.729	8	82,2	4,1
G.723.1m	6,3	78,2	3,9
G.723.1a	5,3	74,2	3,7

Б. Задержки и джиттер в сетях IP

Задержка доставки пакета. Задержка доставки пакета определяется временем переноса пакета от источника до получателя. Время задержки меняется в зависимости от трафика в сети и доступных сетевых ресурсов, в частности, пропускной способности сети, во время доставки. Речь представляет собой трафик, чувствительный к задержке, тогда как большинство приложений данных относительно устойчиво к задержке. Если задержка доставки пакета превышает определенное значение, пакет отбрасывается. В результате, при большом числе отброшенных пакетов качество речи ухудшается, что и отражено в приведенной выше формуле для R-фактора, где влияние задержки учтено через составляющую l_d .

Естественным является вопрос, какая задержка допустима при пакетной передаче речи. В результате исследований качества речевого сигнала еще в 60-х гг. прошлого века было установлено, что человек начинает чувствовать задержки речевого сигнала, превышающие 150 мс, и ощущает заметный дискомфорт, если задержка превышает 250 мс. Позднее, при поддержке МСЭ были проведены масштабные исследования влияния сетевой задержки на качество телефонного разговора. Эти результаты нашли отражение в Рекомендации МСЭ G.114, в соответствии с которой рекомендуемый порог задержки при передаче речи равен 150 мс. При задержке 300 мс разговор распадается на фрагменты, которые невозможно связать в слитную речь.

Рассмотрим, какие факторы определяют суммарную величину задержки доставки пакета. Сквозная задержка доставки пакета D_d (“из конца в конец”) определяется как сумма четырех составляющих:

$$D_d = D_p + D_{пк} + D_{пп} + D_{бд},$$

где:

D_p – задержка распространения: время прохождения электрического сигнала в металлическом или волоконно-оптическом кабеле или в беспроводной среде. Это время зависит от физического расстояния между точкой входа в сеть и точкой выхода из сети. Как известно, в вакууме время распространения сигнала равно примерно 3,3 микросекунды на один километр; в случае металлических кабелей время распространения сигнала составляет примерно 5 мкс/км, в волоконно-оптических кабелях – примерно 4 мкс/км. Таким образом, в случае организации сеанса связи через спутник, находящийся на высоте 40 тыс. км, задержка прохождения сигнала между двумя земными станциями может составить порядка 260 мс; задержка распространения на трассе Москва – Владивосток по металлическому кабелю равно примерно 50 мс, по волоконно-оптическому кабелю – 40 мс;

$D_{пк}$ – задержка пакетизации: время, которое необходимо затратить в кодеке для преобразования аналогового сигнала в цифровой и формирования пакета. Как видно из Таблицы 3.2, чем ниже скорость сигнала на выходе кодека, тем выше задержка пакетизации, поскольку кодек тратит больше времени на процессы компрессии и декомпрессии сигнала; кодек G.711 тратит всего 1 мс на пакетизацию, тогда как кодеку G.723 требуется для пакетизации 67,5 мс;

Дпп – задержка переноса пакета: время прохождения пакета через все устройства сети, расположенные вдоль пути передачи пакета, включая маршрутизаторы, шлюзы, сетевые экраны, обработчики трафика, сегменты сети с относительно малой пропускной способностью в условиях перегрузки и т.д. Для некоторых устройств, например, синхронных мультиплексоров, эта величина постоянна, для других, таких, как маршрутизаторы, задержка переноса меняется с изменением нагрузки в сети.

Дбд – задержка на приемной стороне в буфере джиттера: буфер джиттера используется для уменьшения вариаций между моментами поступления пакетов на вход приемного устройства. Буфер может накапливать от одной до нескольких датаграмм. В соответствии с данными Таблицы 3.2 типичный буфер джиттера накапливает две датаграммы и задержка Дбд составляет от 20 до 30 мс в зависимости от типа кодека.

Очевидно, что задержка распространения, задержки в кодеке и в буфере джиттера являются постоянными величинами для выбранного пути передачи пакета, тогда как задержка переноса является случайной величиной, зависящей от условий в сети в конкретный момент времени. Рассматривая возможные количественные оценки всех составляющих задержки доставки пакета, можно видеть, что в сети Интернет общего пользования задержка речевого сигнала может легко превысить 150 мс, в основном из-за перегрузок, пакетизации и наличия буфера джиттера. На Рис. 3.9 показано, как задержки влияют на R-фактор и показатели МОС.

Вариация задержки доставки пакета (джиттер). Термин “джиттер” используется для обозначения случайных изменений между моментами поступления последовательных пакетов речи в приемник. Джиттер определяется большим числом причин, включая следующие: вариации длин очередей в узлах сети, вариации времени обработки пакетов, которые поступают в пункт назначения с нарушением последовательности их на передаче, наличие в сети трафика данных, конкурирующего с трафиком речи при доступе к общим ресурсам. Когда моменты прибытия речевых пакетов в пункт назначения становятся нерегулярными, это ведет к искажению звукового сигнала и при больших значениях джиттера, превышающих несколько десятков мс, речь становится неразборчивой.

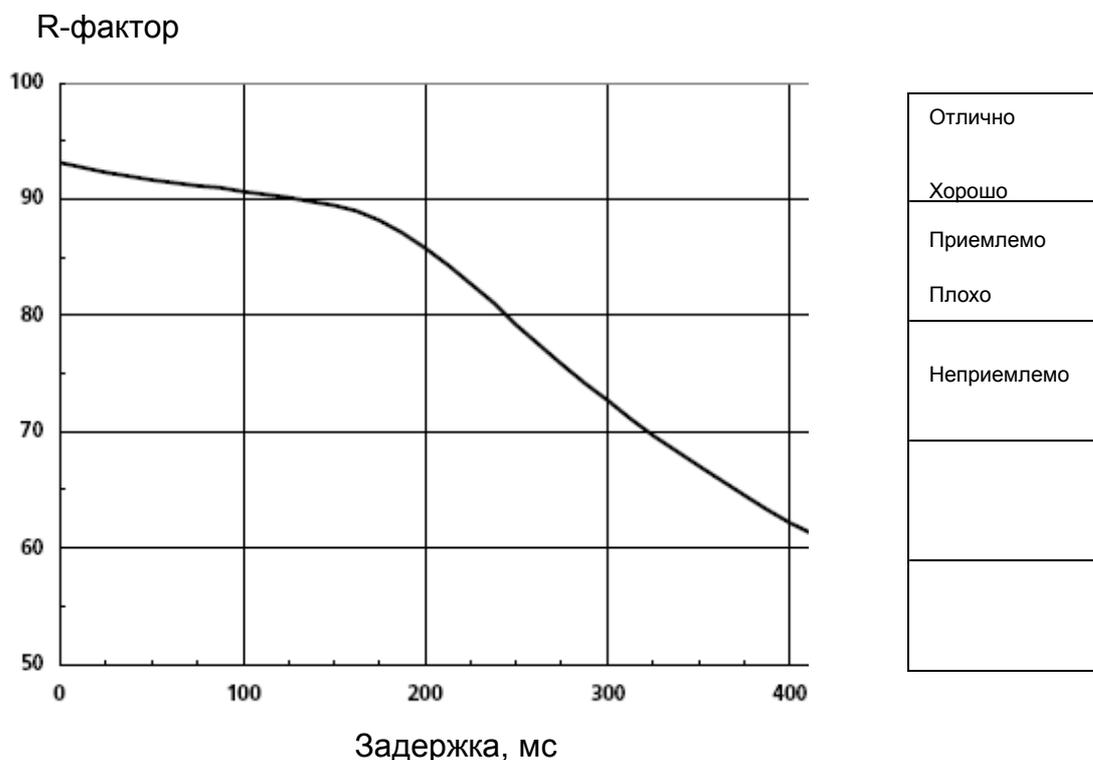


Рисунок 3.9. Влияние величины суммарной задержки на R-фактор и оценки МОС

В. Потери пакетов

Потери пакетов определяются как процент пакетов, не доставленных к месту назначения. В сети имеется ряд причин, приводящих к потерям пакетов. Назовем основные из них:

- При перегрузке сети очереди в коммутаторах и маршрутизаторах быстро растут. Если перегрузка сохраняется в течение длительного времени, происходит переполнение буферов, и пакеты теряются.
- При потере пакетов данных, они могут быть переданы повторно в соответствии с запросом приемной стороны. Повторная передача увеличивает задержку пакетов, и поэтому при пакетной передаче речи речевые пакеты сбрасываются. Потери речевых пакетов не должны превышать 1% в среднем на достаточно большом интервале, скажем, в течение месяца. При больших значениях коэффициента потерь в восстановленной на приемной стороне речи возникают разрывы.

Таким образом, Рекомендации МСЭ Р.800 и G.107 определяют два возможных подхода к оценке качества передачи речи в сетях VoIP. В первой рекомендации определен метод, основанный на субъективных оценках, выносимых группой экспертов. Этот метод, используемый в телефонных сетях, к сожалению, не может учитывать влияние вероятностно-временных характеристик сетей на качество передачи речи в пакетных сетях. Второй метод вычисления R-фактора, основанный на E-модели, может рассматриваться как общая модель МСЭ-T для объективной оценки качества передачи речи. Главной особенностью E-модели является учет большого набора факторов, отражающих воздействие оконечных устройств и транспортной среды на качество обслуживания.

3.5. Конвергенция фиксированных и мобильных сетей (ФМС)

3.5.1. Определение конвергенции ФМС и мотивация абонентов и операторов

В эпоху конкуренции основные интересы сетевых операторов определяются поиском новых технологических и рыночных возможностей с тем, чтобы предложить абонентам всеобъемлющие решения и услуги. Для операторов фиксированных и мобильных сетей конвергенция обоих типов сетей позволяет операторам стать провайдерами полного набора услуг. Сочетание обеих сетей - фиксированных и мобильных, дает возможность предоставлять новые и традиционные услуги. Кроме того, этот путь позволяет снизить эксплуатационные затраты, используя единые ресурсы, такие, как транспорт и единую систему эксплуатации, администрации и менеджмента. В условиях конкуренции конвергенция ФМС (Fixed and Mobile Convergence, FMC) дает операторам возможность сделать шаг вперед в вопросах цен и услуг. Реализация конвергенции ФМС ведет к появлению нового рынка с уникальными услугами и высоким потенциалом доходов.

В документах Европейского Института Стандартизации Телекоммуникаций (ETSI) определяются следующие особенности процесса конвергенции фиксированных и мобильных сетей.

Конвергенция ФМС связана с обеспечением сетевых и сервисных возможностей, не зависящих от технологии доступа. Это не обязательно предполагает физическую конвергенцию сетей и определяет развитие конвергируемых сетевых возможностей и соответствующих стандартов.

Набор стандартов может быть использован для предложения ряда непротиворечивых услуг через фиксированный или подвижный доступ к фиксированным или мобильным сетям, сетям общего пользования или частным сетям.

Важной особенностью конвергенции ФМС является обеспечение возможностей пользователей получить доступ к непротиворечивому набору услуг с любых терминалов - фиксированных или мобильных - через любую совместимую точку доступа. Очень важным является расширение этого принципа на роуминг в Интернет: пользователи должны быть в состоянии осуществить роуминг между различными сетями и использовать тот же непротиворечивый набор услуг как в «домашних», так и в «визитных» сетях. Это свойство рассматривается как возможность создания «виртуальной домашней среды» (Virtual Home Environment, VHE).

Главной движущей силой конвергенции в телекоммуникациях является конвергенция сетевых технологий. Конвергенция сетей обеспечивает объединение наиболее ценных качеств фиксированных и мобильных сетей, уменьшая стоимость и улучшая качество предлагаемых услуг. На начальном этапе конвергенции этот процесс определялся конвергенцией фиксированных сетей (VoIP). С ростом зрелости технологий и развитием рынков и бизнес-моделей конвергенция ФМС становится реальной. Сравнительно недавно сети для предоставления телефонных услуг (беспроводные и проводные), передачи данных и кабельного ТВ существовали отдельно. Решения для сетей следующего поколения (Next Generation Network, NGN) открывают новые возможности повышения эффективности. В сетях NGN сети имеют уровневую структуру с выделенными уровнями услуг, контроля, транспорта и доступа. Наиболее значимым достоинством уровневой архитектуры является возможность построения конвергентной сети для всех типов доступа, поскольку такая архитектура улучшает качество услуг и обеспечивает эффективное введение новых мультимедийных приложений.

Мотивация абонентов. Преимущество от конвергенции мобильных и фиксированных сетей получает конечный пользователь. С точки зрения абонента наибольшую важность имеет широкий спектр услуг в единой сети для фиксированных и мобильных соединений. Мобильность в телекоммуникациях проявляется в трех аспектах - терминальная мобильность, мобильность услуг и персональная мобильность:

- терминальная мобильность позволяет абоненту использовать свой терминал (телефон или ПК) в любом месте - дома, на работе или во время путешествия в другой стране;
- мобильность услуг предоставляет абоненту устойчивый набор услуг, независимо от типа доступа или места расположения. Услуги должны быть «одинаковыми на вид и на ощупь» даже в различных сетях;
- персональная мобильность означает возможность достижимости абонента в любом месте по его личному номеру. Абонент может определить несколько профилей достижимости (в частной жизни, на работе) и изменять этот профиль по желанию с любого терминала.

Мотивация операторов. Оператор может использовать конвергенцию для достижения преимущества над своими конкурентами, уменьшая отток абонентов и привлекая новых пользователей. Формирование набора услуг делает возможным фокусироваться на определенных сегментах пользователей путем предложения пакета привлекательных услуг, ориентированного на абонентов определенной группы. (частных и корпоративных). Таким образом, конвергенцию ФМС можно рассматривать как основу стратегии для завоевания новых абонентов путем создания новых инновационных продуктов.

Предложение унифицированных процедур для активизации и деактивизации услуг, процессов оплаты и других эксплуатационных и сетевых управленческих процессов ведет к более эффективному управлению сетью. Благодаря синергетическому эффекту можно снизить инвестиции в аппаратное и программное обеспечение, например, инвестиции в интеллектуальные платформы, биллинг, и другое оборудование. Возможно также значительное снижение затрат на техническое обслуживание, благодаря более эффективному использованию персонала.

3.5.2. Архитектура сетей на базе конвергенции ФМС

А. Основные свойства платформы для конвергенции ФМС

Главной движущей силой конвергенции в телекоммуникациях является конвергенция сетевых технологий. Конвергенция сетевых технологий обеспечивает объединение наиболее ценных качеств фиксированных и мобильных сетей, уменьшая стоимость и улучшая качество предлагаемых услуг. На начальном этапе конвергенции этот процесс определялся конвергенцией фиксированных сетей (VoIP). С ростом зрелости технологий и

развитием рынков и бизнес-моделей становится реальной конвергенция ФМС. Сравнительно недавно сети для предоставления телефонных услуг (беспроводные и проводные), передачи данных и кабельного ТВ существовали отдельно. Решения для сетей следующего поколения (Next Generation Network, NGN) являются более эффективным путем построения конвергентных сетей. Одним из основных свойств NGN является уровневая архитектура с выделенными уровнями услуг, контроля, транспорта и доступа. Наиболее значимым достоинством такой архитектуры является возможность построения конвергентной сети для всех типов доступа, поскольку уровневая конструкция обеспечивает эффективное введение новых мультимедийных приложений.

Идея построения сетей с уровневой архитектурой получила полное отражение в разработке платформы IMS (Internet Multimedia Subsystem) лежащей в основе мультисервисной уровневой архитектуры. Платформа IMS, стандартизованная организацией 3GPP, представляет собой подсистему, поддерживающую мультимедийные сеансы связи с использованием протокола SIP. Подсистема IMS является общей базой для мультимедийных услуг, доставляющей эти услуги через фиксированные и беспроводные среды доступа, такие, как фиксированные сети, сети Wi-Fi и WiMAX, GSM, UMTS и др. Подсистема IMS с применением протокола SIP позволяет введение услуг IP, включая VoIP, IPTV и других мультимедийных услуг.

Платформа IMS разрабатывается для поддержки новых сервисов IP через фиксированные или мобильные сети. Множество сервисов IP должно учитывать сложность мультимедийных услуг, ограничения, присущие сетевым технологиям, управление мобильностью и управление большим числом новых приложений. Хотя платформа IMS была разработана для мобильных сетей, последние разработки ETSI показывают возможность применения этой платформы в фиксированных сетях и, как следствие, для конвергенции ФМС.

Как было отмечено, платформа IMS может использовать протокол SIP для управления мультимедийными сеансами связи в фиксированных и мобильных сетях. В противоположность отдельным доменам с коммутацией каналов (КК) и коммутацией пакетов (КП) домен IMS обеспечивает любой тип сеанса, который должен быть установлен (речь, видео, текст, данные и т.д.). Платформа также обеспечивает возможность комбинации услуг из доменов КК и КП в одном сеансе (например, добавление видео компонента в проходящий

голосовой сеанс). Это свойство платформы открывает возможность реализации новых услуг, включая и мультимедийные конференции.

По существу, концепция IMS возникла в результате эволюции сетей UMTS, когда область управления мультимедийными вызовами и сеансами на базе протокола SIP была добавлена к архитектуре сетей 3G. Среди основных свойств архитектуры IMS выделим следующие:

- многоуровневая архитектура сети, которая разделяет уровни транспорта, управления и приложений;
- независимость от среды доступа, которая позволяет операторам и сервис-провайдерам конвергировать фиксированные и мобильные сети;
- поддержка мультимедийного персонального обмена информацией в реальном времени (например, голос, видеотелефония) и аналогичного обмена информацией между людьми и компьютерами (например, игры);
- полная интеграция мультимедийных приложений реального и нереального времени (например, потоковые приложения и чаты);
- возможность взаимодействия различных видов услуг (например, услуга управления присутствием и услуга Instant Messaging – обмен сообщениями через сеть Интернет в реальном времени);
- возможность поддержки нескольких служб в одном сеансе или организации нескольких одновременных синхронизированных сеансов.

Б. Стандартизация IMS

Концепция IMS в ее настоящем виде является, главным образом, результатом работ трех международных организаций по стандартизации – 3GPP, 3GPP2 и ETSI. Партнерство 3GPP было создано в конце 1998 г. по инициативе института ETSI с целью разработки технических спецификаций и стандартов для мобильных сетей связи 3-го поколения (сетей UMTS), базирующихся на развивающихся сетях GSM. Партнерство 3GPP2 было образовано (1998 г.) также по инициативе ETSI и Международного союза электросвязи для разработки стандартов сетей 3G (сети CDMA-2000) в рамках проекта IMT-2000, созданного под эгидой МСЭ. Оба партнерства разрабатывают стандарты сетей 3G, ориентируясь на широкое применение IP-ориентированных протоколов, стандартизованных Комитетом IETF, и используя основные идеи архитектуры сетей NGN.

Впервые концепция IMS была представлена в документе 3GPP Release 5 (Март 2002 г.), где была сформулирована основная цель новой концепции –

поддержка мультимедийных услуг в мобильных сетях на базе протокола IP, и были специфицированы механизмы взаимодействия мобильных сетей 3G на базе архитектуры IMS с беспроводными сетями 2G. В этом документе было определено, что архитектура сетей 3G в соответствии с концепцией IMS будет иметь несколько уровней (плоскостей) с разделением по уровням транспорта, управления вызовами и приложений. Подсистема IMS должна быть полностью независима от технологий доступа и должна обеспечивать взаимодействие со всеми существующими сетями – мобильными и стационарными, телефонными, компьютерными и т.д.

В спецификации Release 7, которая разрабатывалась совместно с ETSI, рассматривается взаимодействие мобильных и стационарных сетей, т.е. сделан первый реальный шаг в направлении конвергенции стационарных и мобильных сетей. Спецификация Release 7 добавляет две основные функции, которые являются ключевыми в стационарных сетях:

- функция Network Attachment, которая обеспечивает механизм аутентификации абонентов и необходима в стационарных сетях, поскольку в них отсутствуют SIM-карты идентификации пользователя;
- функция Resource Admission, резервирующая сетевые ресурсы в стационарных сетях для обеспечения сеансов связи.

Работы, направленные на расширение концепции IMS на стационарные сети, проводятся Комитетом TISPAN-ETSI (Telecommunications and Internet converged Services and Protocols for Advanced Networking). Комитет TISPAN также отвечает за стандартизацию современных и перспективных конвергируемых фиксированных и мобильных сетей на базе IMS, включая сети VoIP, NGN.

В. Архитектура IMS

В документах 3GPP (2004 г.) IMS определяется как архитектура, содержащая в ядре сети элементы, обеспечивающие доставку мультимедийных IP-услуг (таких, как аудио, видео, текст, и т.д. и их комбинации) через домен с пакетной коммутацией. Термин «подсистема» (subsystem) в названии концепции IMS (которая может быть переведена как «Подсистема IP-ориентированной мультимедийной связи») можно трактовать как название **части сети**, элементы которой расположены на плоскости управления вызовами, между плоскостями транспорта и приложений. На Рис. 3.10 показана сеть, имеющая многоуровневую архитектуру, которая включает в

себя три уровня – транспортный, уровень управления и уровень услуг. Подсистема мультимедийной связи расположена на уровне управления, который является основным в архитектуре IMS. На Рис. 3.10 также показаны основные элементы платформы IMS, которые определяются не как устройства (что характерно для традиционных сетей), а как логические функции. Это открывает для поставщиков оборудования возможность реализации функций подсистемы IMS в зависимости от требований оператора.

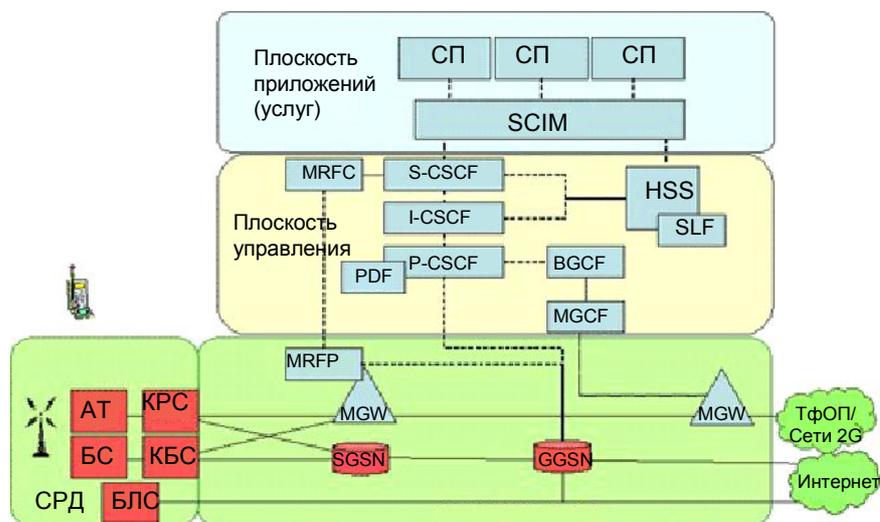


Рис. 3.10. Архитектура IMS

АТ – абонентский терминал; БС – базовая станция; КБС – контроллер базовой станции; КРС – контроллер радиосети; БЛС – беспроводная локальная сеть; СРД – сеть радиодоступа; SGSN – Serving GPRS Support Node, GGSN - Gateway GPRS Support Node – функциональные элементы сети GPRS.

Дадим краткую характеристику основных модулей, входящих в плоскости управления и приложений.

Плоскость управления

Новым ключевым элементом в архитектуре IMS является функция управления вызовами и сеансами (Call Session Control Function, CSCF). Функция CSCF является основной функцией на плоскости управления IMS-платформы. Модуль CSCF, используя протокол SIP, выполняет функции, обеспечивающие доставку множества услуг реального времени с использованием транспорта IP. Функция CSCF использует динамическую информацию для эффективного управления сетевыми ресурсами (граничные

устройства, шлюзы и серверы приложений) в зависимости от профиля пользователей и приложений. Модуль CSCF включает в свой состав три основных функции (Рис. 3.10):

- Serving CSCF (S-CSCF)
- Proxy CSCF (P-CSCF)
- Interrogating CSCF (I-CSCF)

Функция S-CSCF обеспечивает управление сеансами доставки мультимедийных сообщений с использованием транспорта IP, включая регистрацию терминалов, двухстороннее взаимодействие с сервером HSS (получение от него пользовательских данных), анализ сообщения, маршрутизацию, управление сетевыми ресурсами (шлюзами, серверами, пограничными устройствами) в зависимости от приложений и профиля пользователя.

Функция P-CSCF создает первую контактную точку на сигнальном уровне внутри ядра IMS для терминалов IMS данной сети. Функция P-CSCF принимает запрос от терминала или к терминалу и маршрутизирует его к элементам ядра IMS. Обслуживаемый терминал пользователя закрепляется за функцией P-CSCF при регистрации в сети на все время регистрации. Модуль P-CSCF реализует функции, связанные с аутентификацией пользователя, формирует учетные записи и передает их в сервер начисления платы. Одним из элементов модуля P-CSCF является Policy Decision Function (PDF) - функция выбора политики, оперирующая с характеристиками информационного трафика (такими, как требуемая пропускная способность, пачечность) и определяющая возможность организации сеанса или его запрета, необходимость изменения параметров сеанса и т.д.

Функция I-CSCF создает первую контактную точку на сигнальном уровне внутри ядра IMS для всех внешних соединений с абонентами данной сети или с визитными абонентами из других сетей, временно находящимися в данной сети. Основная задача модуля I-CSCF – идентификация привилегий внешнего абонента по доступу к услугам, выбор соответствующего сервера приложений и обеспечение доступа к этому серверу.

Еще один ключевой элемент архитектуры IMS – Сервер домашних абонентов (HSS, Home Subscriber Server). Как и хорошо известный элемент сетей GSM - сервер HLR (Home Location Register), этот сервер является базой пользовательских данных. Сервер HSS обеспечивает открытый доступ в

режиме чтения/записи к индивидуальным данным пользователя, связанным с услугами. Доступ к данным пользователя обеспечивается из различных точек окончания, таких, как телефон, приложения Web и SMS, телевизионные приставки типа set-top box и т.д. В сервере HSS реализуется также функция SLF (Subscription Locator Function), которая определяет положение базы данных, содержащей данные конкретного абонента, в ответ на запрос от модуля I-CSCF или от сервера приложений. Наконец, в состав сервера HSS входят модули HLR и AuC (Authentication Center) для работы с сетями 2G.

Сервер HSS в среде IMS действует как открытая база данных для всех данных о каждом пользователе и об услугах, задействованных абонентом: на какие услуги подписан пользователь, активизированы ли эти услуги, какие параметры управления были установлены пользователем. Платформа IMS является первой стандартной архитектурой, которая поддерживает открытые интерфейсы ко всем данным пользователя. Наличие открытых интерфейсов позволяет различным серверам приложений совместно использовать информацию об абоненте, например такую, как статус присутствия. Введение сервера HSS является основным отличием архитектуры IMS от более ранних архитектур NGN. Именно этот сервер создает возможности развертывания новых услуг на базе архитектуры IMS.

Еще два функциональных модуля на плоскости управления обеспечивают управление мультимедийными информационными потоками. Первый из этих модулей, MSFP (Multimedia Resource Function Processor) - Процессор мультимедийных ресурсов, обеспечивает широкий набор функций для поддержки мультимедийных сеансов, в том числе, конфигурирование ресурсов, смешивание различных медиапотоков (например, от нескольких абонентов), генерацию мультимедийных объявлений, обработку мультимедийных потоков. Вторым связанным модулем, MSFC (Media Resource Function Controller) – Контроллер функции мультимедийных ресурсов, анализирует информацию, приходящую из AS и S-CSCF, и управляет информационными потоками в MSFP.

Функция BGCF (Breakout Gateway Control Function) – функция управления шлюзами, управляет пересылкой вызовов между доменом коммутации каналов (сеть ТфОП или сеть GSM) и сетью IMS. Данный модуль осуществляет маршрутизацию на основе телефонных номеров и выбирает шлюз в домене коммутации каналов (КК), через который сеть IMS (где расположен сервер

BGCF) будет взаимодействовать с сетями ТфОП или GSM. Здесь также производится генерация соответствующих учетных записей для начисления платы абонентам сетей КК.

Функция MGCF (Media Gateway Control Function) – функция управления шлюзами (media gateway), обеспечивает преобразование протокола ISUP и протоколов управления вызовами в подсистеме IMS. Кроме того, этот модуль обеспечивает управление соединениями в шлюзах IMS, которые терминируют потоки из доменов КК и КП.

Плоскость приложений (услуг)

Верхний уровень эталонной архитектуры IMS содержит набор серверов приложений, которые, в принципе, не являются элементами IMS. Эти элементы верхней плоскости включают в свой состав как мультимедийные IP-приложения, базирующиеся на протоколе SIP, так приложения, реализуемые в мобильных сетях на базе виртуальной домашней среды. Еще один элемент плоскости приложений – сервис-брокер SCIM (Service Capability Interaction Manager), обеспечивающий управление взаимодействием плоскости приложений и ядра IMS.

Архитектура приложений IMS достаточно сложна, но ключевым моментом здесь является высокая гибкость при создании новых приложений и интеграции с традиционными приложениями. Например, среда пересылки сообщений может интегрировать традиционные свойства телефонного вызова, такие, как обратный вызов, ожидание вызова, с вызовом Интернет. Чтобы реализовать эти функции архитектура IMS позволяет запустить множество услуг и управлять транзакциями между ними.

Выводы по Части 3

Рассматриваются вопросы конвергенции в телекоммуникациях применительно к фиксированным и мобильным сетям. В качестве примера конвергенции фиксированных сетей описана технология VoIP и ее реализации на базе Рекомендации Н. 323 (МСЭ) и протокола SIP (IETF). Дается характеристика качества обслуживания в системах VoIP и приводится детальный анализ факторов, влияющих на показатели QoS при пакетной передаче речи. В последней главе рассматривается проблема конвергенции фиксированных и мобильных сетей (AVC) и описана архитектура конвергенции ФМС на платформе Internet Multimedia Subsystem.

Контрольные вопросы по Части 3

1. Назовите элементы сетей на базе стандарта H.323 и перечислите их основные функции.
2. Чем в стандарте H.323 привратник отличается от шлюза?
3. Как осуществляется процесс нумерации в сети H.323?
4. Объясните процесс передачи голоса в различных конфигурациях:
 - телефон - телефон
 - ПК - телефон
 - телефон – ПК.
5. Перечислите основные элементы сети на базе протокола SIP.
6. В чем разница между прокси-сервером и сервером переадресации?
7. Назовите основные типы сообщений в протоколе SIP.
8. Поясните, в чем существо сценария установления соединения:
 - через прокси-сервер
 - через сервер переадресации.
9. Что такое «Система MOS»?
10. В чем существо E-модели?
11. Назовите диапазоны соответствия между R-фактором и оценками MOS.
12. Опишите составляющие формулы для вычисления R-фактора.
13. Назовите типы кодеков серии G.
14. Определите эффективность различных кодеков.
15. Приведите значения средних задержек и джиттера, обеспечивающие отличное и приемлемое качество передачи речи в сетях IP.
16. Опишите составляющие для вычисления средней задержки.
17. Приведите нормы на потери пакетов в системах передачи речи в сетях IP.
18. Приведите определение конвергенции ФМС в соответствии с документами ETSI.
19. Какие выгоды получают пользователи и операторы при конвергенции ФМС?
20. Перечислите основные свойства платформы IMS.
21. Назовите основные принципы архитектуры IMS.
22. Приведите основные свойства функциональных блоков платформы IMS в плоскости управления.
23. Приведите основные свойства функциональных блоков платформы IMS в плоскости приложений

Список сокращений

АЛ	Абонентская линия
АТС	Автоматическая телефонная станция
БС	Базовая станция
ВОК	Волоконно-оптический кабель
ВЧС	Виртуальная частная сеть
ИКМ	Импульсно-кодовая модуляция
ИПС	Интерфейс "пользователь-сеть"
ИС	Интеллектуальная сеть
ИТ	Информационные технологии
КАТВ	Кабельное телевидение
КТ	Компьютерная телефония
КФМС	Конвергенция фиксированных и мобильных сетей
ЛС	Локальная сеть
МС	Местная сеть
МДКР	Множественный доступ с кодовым разделением каналов
МОС	Международная организация стандартизации
МСЭ	Международный союз электросвязи
ОК	Оптический кабель
ПД	Передача данных
ПК	Персональный компьютер
ПЦИ	Плезеохронная цифровая иерархия
РВ	Реальное время
СКС	Структурированная кабельная система
СО	Сетевое окончание
СПД-ОП	Сеть ПД общего пользования
СПИ	Сеть-провайдер Интернет
СЦИ	Синхронная цифровая иерархия
ТВВЧ	Телевидение высокой четкости
ТМТ	"Точка-многоточие"
ТРС	Территориально распределенная сеть
ТфОП	Телефонная сеть общего пользования
ТС	Транзитная станция
УАТС	Учрежденческая АТС
УОС	Унифицированный обмен сообщениями
ФМС	Фиксированные и мобильные сети
ЦАЛ	Цифровая абонентская линия
ЦС	Центральная станция
ЦСИО	Цифровая сеть интегрального обслуживания
ШЦСИО	Широкополосная цифровая сеть интегрального обслуживания

2B1Q	Two binary, one quaternary	Вид линейного кода
3G	Third-generation technologies	Технология сетей подвижной связи третьего поколения
10BaseT	10 MHz Ethernet based on Twisted Pairs	Ethernet 10 МГц на витой паре
AAL	ATM Adaptation Layer	Уровень адаптации ATM
ABR	Available Bit Rate	Допустимая скорость передачи
ACD	Automatic Call Distribution	Автоматическое распределение вызовов
ADM	Add/Drop Multiplexer	Мультиплексор с функцией вставки и выделения
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line	Асимметричная цифровая абонентская линия (ЦАЛ)
AE	Application Entity Assured Forwarding	Прикладной объект
AF	Assured Forwarding	Механизм гарантированной доставки в сети Интернет
AN	Access Network	Сеть доступа
ANSI	American National Standardization Institute	Американский национальный институт стандартов
AP	Application Process	Прикладной процесс
API	Application Programming Interface	Интерфейс прикладного программирования
APON	ATM over PON	ATM поверх пассивной оптической сети
ARP	Address Resolution Protocol	Протокол разрешения адресов
ASE	Application Service Element	Прикладной сервисный элемент
ASICs	Application Specific Integrated Circuits	Заказные интегральные микросхемы
ASP	Application Service Provider	Сервис-провайдер приложений
ATM	Asynchronous Transfer Mode	Асинхронный режим передачи
AuC	Authentication Center	Центр аутентификации
BCC	Billing and Customer Care	Центр биллинга и поддержки клиентов
BER	Bit Error Rate	Коэффициент ошибок по битам
B-ISDN	Broadband Integrated Service Digital Network	Широкополосная цифровая сеть интегрального обслуживания
BMAN	Broadband MAN	Широкополосная региональная сеть
BRI	Basic Rate Interface	Интерфейс базовой скорости (ISDN)
BS	Base Station	Базовая станция
BSC	Base Station Controller	Контроллер базовой станции
BTS	Base Transfer Station	Базовая приемопередающая станция
CAC	Call Admission Control	Контроль установления соединений
CAMEL	Customized Applications for	Адаптированное приложение для

	Mobile Enhanced Logic	усовершенствованной логики сети мобильной связи
CAN	Campus Area Network	Кампусная сеть
CAP	CAMEL Application Part	Прикладная подсистема CAMEL
CAP	Carrierless Amplitude/Phase [Modulation]	Амплитудно-фазовая модуляция с подавлением несущей
CATV	Cable TV	Кабельное телевидение
CBR	Constant Bit Rate	Постоянная скорость передачи
CELP	Code-Excited Linear Prediction	Кодирование на базе линейного предсказания с кодовым возбуждением
CDMA	Code Division Multiple Access	Множественный доступ с кодовым разделением каналов (МДКР)
CIF	Common Interchange Format	Общий формат обмена сжатыми видеоданными
CES	Circuit Emulation Service	Услуга эмуляции каналов
CIR	Committed Information Rate	Согласованная информационная скорость
CISC	Complex Instruction Set Computer	Архитектура процессора с полным набором команд
CLEC	Competitive Local Exchange Carrier	Альтернативный оператор местной связи
CN	Core Network	Магистральная сеть
CO	Central Office	Городская АТС
CoC	Commutation Control	Управление связью
COBRA	Common Object Request Broker Architecture	Общая архитектура с передачей запросов к объекту через посредника
CoS	Class of Service	Класс обслуживания
CPE	Customer Premises Equipment	Оборудование в помещении/на территории заказчика
CPN	Customer Premises Network	Сеть в помещении/на территории заказчика
CRM	Customer Relationship Management	Менеджмент отношений с заказчиком
CS	Capability Set	Набор возможностей
CSTA	Computer-supported Telephony Application Protocol	Компьютеризированный протокол телефонных приложений
CTI	Computer Telephony Integration	Компьютерная телефония
CTS	Cordless Telephony System	Бесшнуровая телефонная система
DAVIC	Digital Audio/Visual Interface Council	Совет по цифровым аудио/видео-интерфейсам
DBS	Direct Broadcast Satellite	Спутник непосредственного вещания
DCT	Discrete Cosine Transformation	Дискретное косинус-преобразование
DiffServ	Differentiated Services	Дифференцированные услуги
DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunications	Европейский стандарт для бесшнуровых телефонных систем

DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol	Протокол динамической конфигурации хоста
DICE	Delivery of Information in Cellular Environment	Доставка информации в сотовой среде
DMT	Discrete Multitone [Modulation]	Дискретная многочастотная модуляция
DNS	Domain Name Server	Сервер доменных имен
DPE	Digital Processing Environment	Среда распределенной обработки
DRAM	Dynamic RAM	Динамическое оперативное запоминающее устройство (ОЗУ)
DSL	Digital Subscriber Line	Цифровая абонентская линия (ЦАЛ)
DSLAM	DSL Access Multiplexer	Мультиплексор доступа DSL
DSS	Digital Subscriber Signalling System	Система цифровой абонентской сигнализации
DTV	Digital Television	Цифровое телевидение
DVB	Digital Video Broadcasting	Цифровое телевидение
DVD	Digital Video Disk	Цифровой видеодиск
DWDM	Dense Wave-Division Multiplexing	Плотное мультиплексирование с разделением каналов по длине волны
DXS	Digital Cross-Connect System	Цифровая система кросс-соединений (Кросс-коннектор)
E1	PCM multiplex signal at 2048 kbit/s (European standard)	Мультиплексированный сигнал ИКМ со скоростью 2048 кбит/с (Европейский стандарт)
ECMA	European Computer Manufacturing Association	Европейская ассоциация производителей вычислительных машин
ECTF	Enterprise Computer Telephony Forum	Форум по компьютерной телефонии для предприятий
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution	Технология высокоскоростной передачи данных (до 500 кбит/с) с коммутацией каналов для перспективных сетей GSM
EF	Expedited Forwarding	Механизм срочной доставки в сети Интернет
ESP	External Service Point	Внешний пункт (узел) услуг
ETSI	European Telecommunications Standards Institute	Европейский институт стандартов в области электросвязи
ExE	Service Execution Environment	Среда выполнения услуг
F&F	Friends and Family	Друзья и семья (услуга сокращенного набора номера)
FDDI	Fiber Distributed Data Interface	Оптический интерфейс данных (стандарт)
FMC	Fixed Mobile Convergence	Конвергенция фиксированных и мобильных сетей (КФМС)
FR	Frame Relay	Ретрансляция кадров

FRAD	FR Access Device	Устройство доступа к сети FR
FT	Fixed Terminal	Фиксированный терминал
FTTB	Fiber-to-the-Building	Доведение волоконно–оптического кабеля (ВОК) до здания
FTTC	Fiber-to-the-Curb	Доведение ВОК до кабельного шкафа
FTTH	Fiber-to-the-Home	Доведение ВОК до жилого дома
FTTO	Fiber-to-the-Office	Доведение ВОК до офиса
GPRS	General Packet Radio System	Общая услуга пакетной радиосвязи
GSM	Global System of Mobile Communication	Глобальная система мобильной связи
GUI	Graphical User Interface	Графический интерфейс пользователя
GMPCS	General Mobile Personal Communications System	Спутниковая система персональной мобильной связи
HDLC	High-Level Data Link Control	Высокоуровневое управление каналом данных (протокол второго уровня)
HDSL	High Bit Rate DSL	Высокоскоростная ЦАЛ
HDTV	High-definition Television	Телевидение высокой четкости (ТВВЧ)
HFC	Hybrid Fixed/Coax	Сегмент сети доступа с комбинацией ВОК/коаксиальный кабель
HLR	Home Location Register	Домашний регистр местоположения
HSCSD	High Speed Circuit Switched Data	Технология высокоскоростной передачи данных (28,8 кбит/с) с коммутацией каналов для сетей GSM
HTML	HyperText Markup Language	Язык разметки гипертекстов (язык для создания страниц WWW)
HTTP	HyperText Transfer Protocol	Протокол передачи гипертекстов
IAB	Internet Activities Board	Совет по архитектуре сети Интернет
IBC	Internet Broadcasting Service	Вещательная служба сети Интернет
ICMP	Internet Control Message Protocol	Протокол контрольных сообщений сети Интернет
IDSL	ISDN-like DSL	DSL для сетей ISDN
IETF	Internet Engineering Task Force	Проблемная группа проектирования Интернет
I/f	Interface	Интерфейс
IGMP	Internet Group Management Protocol	Межсетевой протокол управления группами сети Интернет
ILEC	Incumbent Local Exchange Carrier	Традиционный оператор местной связи
IGMP	Internet Group Multicast Protocol	Широковещательный групповой протокол взаимодействия групп сети Интернет
IMT-2000	International Mobile Telecommunications-2000	Концепция МСЭ по созданию систем подвижной связи поколения 3G

IN	Intelligent Network	Интеллектуальная сеть (ИС)
INAP	IN Application Part	Прикладная подсистема ИС
IntServ	Integrated Services	Интегрированные услуги
IP	Internet Protocol	Интернет протокол (протокол Интернет)
IPng	New Generation IP	Новое поколение сетей Интернет
IPoATM	IP over ATM	IP поверх ATM
IPoFR	IP over Frame Relay	IP поверх FR
IPSec	IP Security	Механизмы защиты информации в сети Интернет
IPX	Inter-network Packet Exchange	Межсетевой пакетный обмен (протокол)
ISDN	Integrated Services Digital Network	Цифровая сеть интегрального обслуживания
ISO	International Standards Organization	Международная организация стандартизации (МОС)
ISP	Internet Service Provider	Сервис-провайдер Интернет
ISUP	ISDN User Part Information Technologies	Подсистема пользователя ISDN
IT	International	Информационные технологии (ИТ)
ITU	International Telecommunications Union	Международный союз электросвязи (МСЭ)
IWF	Interworking Function	Функция взаимодействия сетей
IWU	Interworking Unit	Блок взаимодействия сетей
JTAPI	Java TAPI	Интерфейс TAPI на базе языка Java
LAN	Local Area Network	Локальная сеть (ЛС)
LANE	LAN Emulation	Эмуляция ЛС
LEC	Local Exchange Carrier	Оператор местной связи
LEX	Local Exchange	Местная АТС
LL	Leased Line	Выделенная (арендованная) линия
LMDS	Local Multipoint Distribution Systems	Беспроводная широкополосная технология интерактивного ТВ для местной сети
LPC	Linear Predictive Coding	Кодирование с линейным предсказанием
MAC	Medium Access Control	Управление доступом к среде (протокол)
MAN	Metropolitan Area Network	Общегородская (региональная) сеть (передачи данных)
MAP	Mobile Application Part	Прикладная подсистема мобильной связи
MAP	Messaging Application Protocol	Прикладной интерфейс обмена сообщениями
MCU	Multicast Control Unit	Узел управления многоточечной связью (в системах

		телеконференций)
MexE	Mobile station application Execution Environment	Среда предоставления услуг мобильной станции
MFC	Multi-Frequency Code	Многочастотный код
MG	Media Gateway	Транспортный шлюз
MGC	Media Gateway Controller	Контроллер транспортного шлюза
MGCP	Media Gateway Control Protocol	Протокол управления транспортным шлюзом
MIB	Management Information Base	База управляющей информации
MIME	Multipurpose Internet Mail Extension	Набор стандартов для передачи мультимедийной информации в системах электронной почты
MMI	Multimedia Information	Мультимедийная информация
MMI	Man-Machine Interface	Человеко-машинный интерфейс
MOS	Mean Opinion Score	Система субъективных оценок качества речи
MPEG	Motion Picture Expert Group	Группа разработки стандартов кодирования видеоинформации(также названия стандартов)
MPLS	Multi-Protocol Label Switching	Механизм многопротокольной коммутации меток
MPOA	Multi-protocol over ATM	Механизм многопротокольной передачи через сеть ATM
MSAC	Multi-Service Access Concentrator	Концентратор мультисервисной сети доступа
MSC	Mobile Switching Center	Центр коммутации мобильной сети
MSDSL	Multirate Symmetric DSL	Многоскоростная симметричная DSL
MSS	Mobile Satellite System	Система спутниковой связи для подвижных объектов
MT	Mobile Terminal	Мобильный терминал
NAP	Network Access Point	Пункт (узел) сетевого доступа
NE	Network Element	Сетевой элемент
N-ISDN	Narrowband ISDN	Узкополосная ISDN
NLM	Network Link Manager	Система управления звеном (в компьютерной телефонии)
NNI	Network-Network Interface	Межсетевой интерфейс (в сетях ATM)
NT	Network Termination	Сетевое окончание
OA&M	Operation, Administration and Maintenance	Эксплуатация, администрирование и техническое обслуживание
OADM	Optical ADM	Оптический мультиплексор с функцией вставки и выделения
OLR	Open Real-time Link	Тип интерфейса в операторских центрах
OSI	Open System Interconnection	Взаимосвязь открытых систем
ODXS	Optical DXS	Оптический цифровой кросс-

OSPF	Open Shortest Path First	коннектор Первоочередной выбор кратчайших маршрутов
PBX	Private Branch Exchange	Учрежденческая АТС (УАТС)
PC	Personal Computer	Персональный компьютер (ПК)
PCM	Pulse Code Modulation	Импульсно-кодовая модуляция (ИКМ)
PCN	Personal Communications Network	Сеть персональной связи
PCS	Personal Communications Services	Услуги персональной связи
PDA	Personal Digital Assistant	Персональный цифровой помощник
PDU	Protocol Data Unit	Протокольный блок данных
PDH	Plesiochronous Digital Hierarchy	Плезиохронная цифровая иерархия (ПЦИ)
PHS	Personal Handy phone System	Система персональных портативных телефонов
Pel	Minimum-size picture element	Элемент изображения минимального размера
PIC	Personal Intelligent Communicator	Персональный интеллектуальный коммуникатор
PIN	Personal Identification Number	Персональный идентификационный номер
PINT	Private Integrated Network Termination	Точка окончания частной интегральной сети
PINX	Private Integrated Network Exchange	Коммутатор частной интегральной сети
PLMN	Public Land Mobile Network	Наземная мобильная сеть общего пользования
PN	Personal Number	Персональный номер
PN	Private Network	Частная сеть
PNE	Private Network Emulation	Эмуляция частной сети
PNNI	Private Network Node Interface	Частный интерфейс сетевого узла (в сетях АТМ)
PON	Passive Optical Network	Пассивная оптическая сеть
PoP	Point-of-Presence	Точка присутствия (в Интернет)
POTS	Plain Old Telephone Service	Старая телефонная система
PPP	Point-to-Point Protocol	Протокол двухточечного соединения (в сети Интернет)
PPS	Prepaid Service	Услуга предоплаты
PRI	Primary Rate Interface	Интерфейс первичной скорости (ISDN)
PSTN	Public Switched Telephone Network	Коммутируемая телефонная сеть
PVC	Permanent Virtual Circuit	Постоянное виртуальное соединение
PVN	Private Virtual Network	Частная виртуальная сеть
QoS	Quality of Service	Качество обслуживания

QSIG	Signaling at Q Reference Point of ISDN	Сигнализация в эталонной точке Q (ISDN)
RADSL	Rate Adaptive DSL	ЦАЛ с адаптивной скоростью передачи
RAN	Radio Access Network	Сеть радиодоступа
RAS	Remote Access Server	Сервер удаленного доступа
RFC	Request for Comments	Спецификация протоколов Интернет
RIP	Routing Information Protocol	Протокол взаимодействия маршрутизаторов (внутренний протокол сетей Интернет)
RISC	Reduced Instruction Set Computer	Архитектура процесса с сокращенным набором команд
RLA	Remote LAN Access	Удаленный доступ к ЛС
RMI	Java Remote Method Invocation	Технология создания распределенных приложений в языке Java
RNC	Radio Network Controller	Контроллер радиосети
RSVP	Resource Reservation Protocol	Протокол резервирования ресурсов
RT	Real Time	Реальное время (РВ)
RTCP	RTP Control Protocol	Протокол Управления передачей в РВ
RTP	Real-time Transport Protocol	Протокол передачи РВ
SCE	Service Creation Environment	Среда создания услуг
SCP	Service Control Point	Пункт (узел) управления услугами
SDN	Synchronous Digital Hierarchy	Синхронная цифровая иерархия (СЦИ)
SDSL	Symmetric Digital Subscriber Line	Симметричная ЦАЛ
SDV	Switched Digital Video	Коммутируемая цифровая видеоинформация
SG	Signaling Gateway	Шлюз сигнализации
SIM	Subscriber Identity Module	Модуль идентификации абонента
SIP	Session Initiation Protocol	Протокол инициализации сеанса
SLA	Service Level Agreement	Соглашение об уровне обслуживания
SMDS	Switched Multimegabit Data Services	Услуги мультимегабитной ПД с коммутацией каналов
SMP	Service Management Point	Пункт (узел) эксплуатационного управления услугами
SMS	Short Message Service	Услуга передачи коротких сообщений
SMTP	Simple Mail Transfer Protocol	Простой протокол электронной почты
SNA	System Network Architecture	Системная сетевая архитектура
SNMP	Simple Network Management Protocol	Простой протокол управления
SOHO	Small Office/ Home Office	Небольшой офис/ офис в квартире
SONET	Synchronous Optical NETWORK	Синхронная оптическая сеть

		(стандарт СЦИ США)
SS7	Signaling System No. 7	Система сигнализации №7
SSF	Service Switching Function	Функциональный объект коммутации услуг
SSP	Service Switching Point	Пункт (узел) коммутации услуг
STB	Set- Top Box	ТВ- приставка
STMA	System Trunk Module ATM	Системный модуль соединительных линий ATM
SVC	Switched Virtual Connection	Коммутируемое виртуальное соединение
T1	PCM multiplex signal at 1544 kbit/s (US standard)	Мультиплексный сигнал ИКМ со скоростью 1544 кбит/с (североамериканский стандарт)
TAPI	Telephony API	Интерфейс программирования телефонных приложений
TC	Traffic Class	Класс трафика
TCP	Transmission Control Protocol	Протокол управления передачей
TD-CDMA	Time Division CDMA	Множественный доступ с временным и кодовым разделением каналов
TDM	Time Division multiplexing	Мультиплексирование с временным разделением каналов
TEX	Transit Exchange	Транзитная коммутационная станция
TIPHON	Telecommunications and Harmonization Over Network Internet Protocol Project	Проект ETSI по IP- телефонии
ToS	Type of Service	Тип услуги
TSAPI	Telephony Service API	Прикладной интерфейс программирования телефонных услуг
UBR	Unspecified Bit Rate	Неопределенная скорость передачи
UDP	User Datagram Protocol	Протокол передачи пользовательских диаграмм
UDSL	Universal ADSL	Универсальная асимметричная ЦАЛ
UIM	UMTS Identity Module	Модуль идентификации UMTS
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System	Универсальная система мобильной связи (концепция ETSI)
UNI	User Network Interface	Интерфейс «пользователь- сеть»
UPT	Universal Personal Telecommunications	Универсальная персональная связь
USIM	User Service Identity Module	Модель идентичности услуги для пользователя
USSD	Unstructured Supplementary Service Data	Неструктурированные данные дополнительных услуг
UTP	Unshielded Twisted Pair	Неэкранированная витая пара
UTRA	UMTS Terrestrial Radio Access	Наземный радиодоступ UMTS
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network	Наземная сеть радиодоступа UMTS

VAD	Voice Activity Detection	Обнаружение периодов активности речи
VBR	Variable Bit Rate	Переменная скорость передачи
VCI	Virtual Channel Identifier	Идентификатор виртуального канала
VCI	Virtual Path Identifier	Идентификатор виртуального тракта
VDS	Very high-speed DSL	ЦАЛ с очень высокой скоростью передачи речи
VHE	Virtual Home Environment	Виртуальная домашняя среда
VLAN	Virtual LAN	Виртуальная ЛС
VLR	Visitor Location Register	Визитный регистр местоположения
VoATM	Voice Over ATM	Речь поверх ATM
VoD	Voice Over Data	Речь поверх данных
VoD	Video-on-Demand	Видео по требованию
VoFR	Voice Over Frame Relay	Речь поверх Frame Relay
VoIP	Voice Over IP	Речь поверх IP
VPN	Virtual Private Network	Виртуальная частная сеть
WAN	Wide Area Network	Территориально распределенная сеть
WAP	Wireless Application Protocol	Протокол беспроводных приложений
WCDMA	Wideband CDMA	Широкополосный МДКР
WDW	Wave-Division Multiplexing	Мультиплексирование с разделением каналов по длине волны
WLAN	Wireless LAN	Беспроводная ЛС
WLL	Wireless Local Loop	Беспроводная АЛ
WML	Wireless Markup Language	Язык разметки для беспроводных приложений
WP-CDMA	Wideband Packet CDMA	Широкополосная система коммутации пакетов на базе МДКР
WTA	Wireless Telephony Applications	Приложения беспроводной телефонии
WTP	Wireless Transaction Protocol	Протокол беспроводный транзакций
WWW	World-Wide Web	Всемирная паутина
xDSL	Digital Subscriber Line	Цифровая АЛ (общее обозначение семейства технологий ЦАЛ)

Литература

1. Кох Р., Яновский Г.Г. Эволюция и конвергенция в электросвязи. –М.: Радио и связь, 2001.
2. Перспективы развития инфокоммуникаций. Под редакцией проф. А.А. Гоголя и проф. Г.Г. Яновского. –СПб.: Петеркон, 2003.
3. Гольдштейн Б.С. Протоколы сети доступа. – М.: Радио и связь, 1999.
4. Гольдштейн и др. IP-телефония. –М.: Радио и связь
5. Соколов Н.А. Сети абонентского доступа. Принципы построения. – М.: ЗАО "ИГ Энтер профи", 1999.
6. Соколов Н.А. Беседы о телекоммуникациях. Монография в четырех главах. – М.: Альварес Пабблишинг, 2003 – 2004.
7. Гольдштейн А.Б., Гольдштейн Б.С. Технология и протоколы MPLS. –СПб.: БХВ, 2005.
8. <http://www.itu.org>
9. <http://www.atmforum.com>
10. <http://www.dslreports.com>
11. <http://www.rfc-editor.org>