

21. Почему в записи о маршрутизаторе по умолчанию в качестве адреса сети назначения указывается 0.0.0.0 с маской 0.0.0.0?
22. Отличается ли обработка поля MAC - адреса кадра маршрутизатором и коммутатором?
23. Сравните функции маршрутизаторов, которые поддерживают маршрутизацию от источника, с функциями маршрутизаторов, поддерживающих протоколы адаптивной маршрутизации.
24. Какие метрики расстояния могут быть использованы в алгоритмах сбора маршрутной информации?
25. Сравните интенсивность широковещательного трафика, порождаемого протоколами RIP и OSPF.
26. Какие элементы сети могут выполнять фрагментацию?
  - A. только компьютеры;
  - B. только маршрутизаторы;
  - C. компьютеры, маршрутизаторы, мосты, коммутаторы;
  - D. компьютеры и маршрутизаторы.
27. Что произойдет, если при передаче пакета он был фрагментирован и один из фрагментов не дошел до узла назначения после истечения тайм-аута?
  - A. модуль IP узла-отправителя повторит передачу недошедшего фрагмента;
  - B. модуль IP узла-отправителя повторит передачу всего пакета, в состав которого входил недошедший фрагмент;
  - C. модуль IP узла-получателя отбросит все полученные фрагменты пакета, в котором потерялся один фрагмент; модуль IP узла-отправителя не будет предпринимать никаких действий по повторной передаче пакета данного пакета.
28. Какие особенности протоколов сетевого уровня стека Novell ограничивают их использование на глобальных линиях?
29. При образовании сетевого адреса в протоколе IPX в качестве номера узла используется MAC - адрес сетевого адаптера этого узла, а в протоколе IP номер узла назначается администратором произвольно. Какой, по вашему мнению, вариант является более эффективным и почему?
30. Каким образом должен быть сконфигурирован маршрутизатор, чтобы он предотвращал «широковещательный шторм»?
31. За счет чего коммутаторы третьего уровня ускоряют процесс маршрутизации?



## Глобальные сети

*Глобальные сети Wide Area Networks, WAN*), которые также называют территориальными компьютерными сетями, служат для того, чтобы предоставлять свои сервисы большому количеству конечных абонентов, разбросанных по большой территории - в пределах области, региона, страны, континента или всего земного шара. Ввиду большой

протяженности каналов связи построение глобальной сети требует очень больших затрат, в которые входит стоимость кабелей и работ по их прокладке, затраты на коммутационное оборудование и промежуточную усилительную аппаратуру, обеспечивающую необходимую полосу пропускания канала, а также эксплуатационные затраты на постоянное поддержание в работоспособном состоянии разбросанной по большой территории аппаратуры сети.

Типичными абонентами глобальной компьютерной сети являются локальные сети предприятий, расположенные в разных городах и странах, которым нужно обмениваться данными между собой. Услугами глобальных сетей пользуются также и отдельные компьютеры. Крупные компьютеры класса мэйнфреймов обычно обеспечивают доступ к корпоративным данным, в то время как персональные компьютеры используются для доступа к корпоративным данным и публичным данным Internet.

Глобальные сети обычно создаются крупными телекоммуникационными компаниями для оказания платных услуг абонентам. Такие сети называют публичными или общественными. Существуют также такие понятия, как оператор сети и поставщик услуг сети. *Оператор сети (network operator)* - это та компания, которая поддерживает нормальную работу сети. *Поставщик услуг*, часто называемый также провайдером (*service provider*), - та компания, которая оказывает платные услуги абонентам сети. Владелец, оператор и поставщик услуг могут объединяться в одну компанию, а могут представлять и разные компании.

Гораздо реже глобальная сеть полностью создается какой-нибудь крупной корпорацией (такой, например, как Dow Jones или «Транснефть») для своих внутренних нужд. В этом случае сеть называется частной. Очень часто встречается и промежуточный вариант - корпоративная сеть пользуется услугами или оборудованием общественной глобальной сети, но дополняет эти услуги или оборудование своими собственными. Наиболее типичным примером здесь является аренда каналов связи, на основе которых создаются собственные территориальные сети.

Кроме вычислительных глобальных сетей существуют и другие виды территориальных сетей передачи информации. В первую очередь это телефонные и телеграфные сети, работающие на протяжении многих десятков лет, а также телексная сеть.

Ввиду большой стоимости глобальных сетей существует долговременная тенденция создания единой глобальной сети, которая может передавать данные любых типов: компьютерные данные, телефонные разговоры, факсы, телеграммы, телевизионное изображение, телетекс (передача данных между двумя терминалами), видеотекс (получение хранящихся в сети данных на свой терминал) и т. д., и т. п. На сегодня существенного прогресса в этой области не достигнуто, хотя технологии для создания таких сетей начали разрабатываться достаточно давно - первая технология для интеграции телекоммуникационных услуг ISDN стала развиваться с начала 70-х годов. Пока каждый тип сети существует отдельно и наиболее тесная их интеграция достигнута в области использования общих первичных сетей - сетей PDH и SDH, с помощью которых сегодня создаются постоянные каналы в сетях с коммутацией абонентов. Тем не менее каждая из технологий, как компьютерных сетей, так и телефонных, старается сегодня передавать «чужой» для нее трафик с максимальной эффективностью, а попытки создать интегрированные сети на новом витке развития технологий продолжаются под преобладающим названием Broadband ISDN (B-ISDN), то есть широкополосной (высокоскоростной) сети с интеграцией услуг. Сети B-ISDN будут основываться на

технологии АТМ, как универсальном транспорте, и поддерживать различные службы верхнего уровня для распространения конечным пользователям сети разнообразной информации - компьютерных данных, аудио- и видеоинформации, а также организации интерактивного взаимодействия пользователей.

## 6.1. Основные понятия и определения

Хотя в основе локальных и глобальных вычислительных сетей лежит один и тот же метод - метод коммутации пакетов, глобальные сети имеют достаточно много отличий от локальных сетей. Эти отличия касаются как принципов работы (например, принципы маршрутизации почти во всех типах глобальных сетей, кроме сетей ТСР/ІР, основаны на предварительном образовании виртуального канала), так и терминологии. Поэтому целесообразно изучение глобальных сетей начать с основных понятий и определений.

### 6.1.1. Обобщенная структура и функции глобальной сети

#### Транспортные функции глобальной сети

В идеале глобальная вычислительная сеть должна передавать данные абонентов любых типов, которые есть на предприятии и нуждаются в удаленном обмене информацией. Для этого глобальная сеть должна предоставлять комплекс услуг:

передачу пакетов локальных сетей, передачу пакетов мини-компьютеров и мейнфреймов, обмен факсами, передачу трафика офисных АТС, выход в городские, междугородные и международные телефонные сети, обмен видеоизображениями для организации видеоконференций, передачу трафика кассовых аппаратов, банкоматов и т. д. и т. п. Основные типы потенциальных потребителей услуг глобальной компьютерной сети изображены на рис. 6.1.



**Рис. 6.1.** Абоненты глобальной сети

Нужно подчеркнуть, что когда идет речь о передаче трафика офисных АТС, то имеется в виду обеспечение разговоров только между сотрудниками различных филиалов одного предприятия, а не замена городской, национальной или международной телефонной сети.

Трафик внутренних телефонных разговоров имеет невысокую интенсивность и невысокие требования к качеству передачи голоса, поэтому многие компьютерные технологии глобальных сетей, например frame relay, справляются с такой упрощенной задачей.

Большинство территориальных компьютерных сетей в настоящее время обеспечивают только передачу компьютерных данных, но количество сетей, которые могут передавать остальные типы данных, постоянно растет.

---

**ПРИМЕЧАНИЕ** Отметим, что термин «передача данных» в территориальных сетях используется в узком смысле и означает передачу только компьютерных данных, а передачу речи и изображения обычно к передаче данных не относят.

---

### **Высокоуровневые услуги глобальных сетей**

Из рассмотренного списка услуг, которые глобальная сеть предоставляет конечным пользователям, видно, что в основном она используется как транзитный транспортный механизм, предоставляющий только услуги трех нижних уровней модели OSI. Действительно, при построении корпоративной сети сами данные хранятся и вырабатываются в компьютерах, принадлежащих локальным сетям этого предприятия, а глобальная сеть их только переносит из одной локальной сети в другую. Поэтому в локальной сети реализуются все семь уровней модели OSI, включая прикладной, которые предоставляют доступ к данным, преобразуют их форму, организуют защиту информации от несанкционированного доступа.

Однако в последнее время функции глобальной сети, относящиеся к верхним уровням стека протоколов, стали играть заметную роль в вычислительных сетях. Это связано в первую очередь с популярностью информации, предоставляемой публично сетью Internet. Список высокоуровневых услуг, который предоставляет Internet, достаточно широк. Кроме доступа к гипертекстовой информации Web-узлов с большим количеством перекрестных ссылок, которые делают источником данных не отдельные компьютеры, а действительно всю глобальную сеть, здесь нужно отметить и широковещательное распространение звукозаписей, составляющее конкуренцию радиовещанию, организацию интерактивных «бесед» - chat, организацию конференций по интересам (служба News), поиск информации и ее доставку по индивидуальным заказам и многое другое.

Эти информационные (а не транспортные) услуги оказывают большое влияние не только на домашних пользователей, но и на работу сотрудников предприятий, которые пользуются профессиональной информацией, публикуемой другими предприятиями в Internet, в своей повседневной деятельности, общаются с коллегами с помощью конференций и chat, часто таким образом достаточно быстро выясняя наиболее насущные вопросы.

Информационные услуги Internet оказали влияние на традиционные способы доступа к разделяемым ресурсам, на протяжении многих лет применявшиеся в локальных сетях. Все больше корпоративной информации «для служебного пользования» распространяется среди сотрудников предприятия с помощью Web-службы, заменив многочисленные индивидуальные программные надстройки над базами данных, в больших количествах

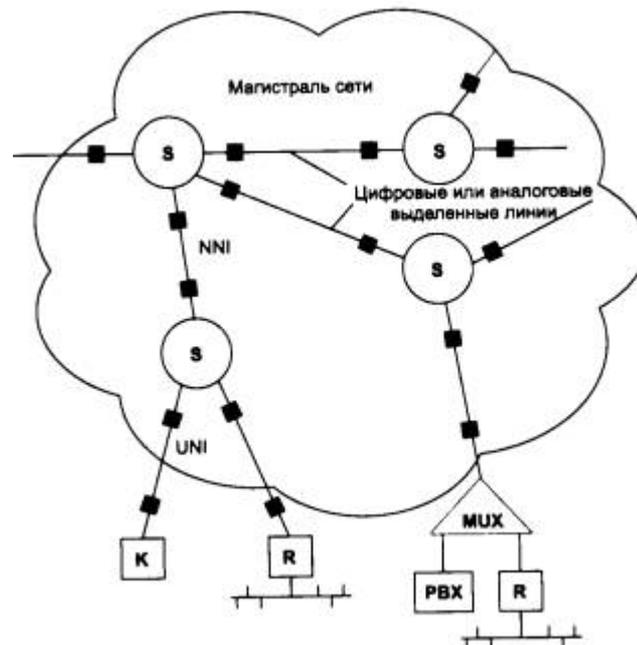
разрабатываемые на предприятиях. Появился специальный термин - *intranet*, который применяется в тех случаях, когда технологии Internet переносятся в корпоративную сеть. К технологиям intranet относят не только службу Web, но и использование Internet как глобальной транспортной сети, соединяющей локальные сети предприятия, а также все информационные технологии верхних уровней, появившиеся первоначально в Internet и поставленные на службу корпоративной сети.

В результате глобальные и локальные сети постепенно сближаются за счет взаимопроникновения технологий разных уровней - от транспортных до прикладных.

В данной книге основное внимание уделяется транспортным технологиям глобальных сетей, как основе любой высокоуровневой службы верхнего уровня. Кроме того, глобальные сети при построении корпоративных сетей в основном пока используются именно в этом качестве.

### Структура глобальной сети

Типичный пример структуры глобальной компьютерной сети приведен на рис. 6.2. Здесь используются следующие обозначения: S (switch) - коммутаторы, К - компьютеры, R (router) - маршрутизаторы, MUX (multiplexor) - мультиплексор, UNI (User-Network Interface) - интерфейс пользователь - сеть и NNI (Network-Network Interface) - интерфейс сеть - сеть. Кроме того, офисная АТС обозначена аббревиатурой PBX, а маленькими черными квадратиками - устройства DCE, о которых будет рассказано ниже.



**Рис. 6.2.** Пример структуры глобальной сети

Сеть строится на основе некоммутируемых (выделенных) каналов связи, которые соединяют коммутаторы глобальной сети между собой. Коммутаторы называют также *центрами коммутации пакетов (ЦКП)*, то есть они являются коммутаторами пакетов, которые в разных технологиях глобальных сетей могут иметь и другие названия - кадры, ячейки cell. Как и в технологиях локальных сетей принципиальной разницы между этими единицами данных нет, однако в некоторых технологиях есть традиционные названия,

которые к тому же часто отражают специфику обработки пакетов. Например, кадр технологии frame relay редко называют пакетом, поскольку он не инкапсулируется в кадр или пакет более низкого уровня и обрабатывается протоколом канального уровня.

Коммутаторы устанавливаются в тех географических пунктах, в которых требуется ответвление или слияние потоков данных конечных абонентов или магистральных каналов, переносящих данные многих абонентов. Естественно, выбор мест расположения коммутаторов определяется многими соображениями, в которые включается также возможность обслуживания коммутаторов квалифицированным персоналом, наличие выделенных каналов связи в данном пункте, надежность сети, определяемая избыточными связями между коммутаторами.

Абоненты сети подключаются к коммутаторам в общем случае также с помощью выделенных каналов связи. Эти каналы связи имеют более низкую пропускную способность, чем магистральные каналы, объединяющие коммутаторы, иначе сеть бы не справилась с потоками данных своих многочисленных пользователей. Для подключения конечных пользователей допускается использование коммутируемых каналов, то есть каналов телефонных сетей, хотя в таком случае качество транспортных услуг обычно ухудшается. Принципиально замена выделенного канала на коммутируемый ничего не меняет, но вносятся дополнительные задержки, отказы и разрывы канала по вине сети с коммутацией каналов, которая в таком случае становится промежуточным звеном между пользователем и сетью с коммутацией пакетов. Кроме того, в аналоговых телефонных сетях канал обычно имеет низкое качество из-за высокого уровня шумов. Применение коммутируемых каналов на магистральных связях коммутатор-коммутатор также возможно, но по тем же причинам весьма нежелательно.

В глобальной сети наличие большого количества абонентов с невысоким средним уровнем трафика весьма желательно - именно в этом случае начинают в наибольшей степени проявляться выгоды метода коммутации пакетов. Если же абонентов мало и каждый из них создает трафик большой интенсивности (по сравнению с возможностями каналов и коммутаторов сети), то равномерное распределение во времени пульсаций трафика становится маловероятным и для качественного обслуживания абонентов необходимо использовать сеть с низким коэффициентом нагрузки.

Конечные узлы глобальной сети более разнообразны, чем конечные узлы локальной сети. На рис. 6.2. показаны основные типы конечных узлов глобальной сети: отдельные компьютеры К, локальные сети, маршрутизаторы R и мультиплексоры MUX, которые используются для одновременной передачи по компьютерной сети данных и голоса (или изображения). Все эти устройства вырабатывают данные для передачи в глобальной сети, поэтому являются для нее устройствами типа DTE (Data Terminal Equipment). Локальная сеть отделена от глобальной маршрутизатором или удаленным мостом (который на рисунке не показан), поэтому для глобальной сети она представлена единым устройством DTE - портом маршрутизатора или моста.

При передаче данных через глобальную сеть *мосты* и *маршрутизаторы*, работают в соответствии с той же логикой, что и при соединении локальных сетей. Мосты, которые в этом случае называются *удаленными мостами (remote bridges)*, строят таблицу MAC - адресов на основании проходящего через них трафика, и по данным этой таблицы принимают решение - передавать кадры в удаленную сеть или нет. В отличие от своих локальных собратьев, удаленные мосты выпускаются и сегодня, привлекая сетевых интеграторов тем, что их не нужно конфигурировать, а в удаленных офисах, где нет

квалифицированного обслуживающего персонала, это свойство оказывается очень полезным. Маршрутизаторы принимают решение на основании номера сети пакета какого-либо протокола сетевого уровня (например, IP или IPX) и, если пакет нужно переправить следующему маршрутизатору по глобальной сети, например frame relay, упаковывают его в кадр этой сети, снабжают соответствующим аппаратным адресом следующего маршрутизатора и отправляют в глобальную сеть.

*Мультиплексоры «голос - данные»* предназначены для совмещения в рамках одной территориальной сети компьютерного и голосового трафиков. Так как рассматриваемая глобальная сеть передает данные в виде пакетов, то мультиплексоры «голос - данные», работающие на сети данного типа, упаковывают голосовую информацию в кадры или пакеты территориальной сети и передают их ближайшему коммутатору точно так же, как и любой конечный узел глобальной сети, то есть мост или маршрутизатор. Если глобальная сеть поддерживает приоритезацию трафика, то кадрам голосового трафика мультиплексор присваивает наивысший приоритет, чтобы коммутаторы обрабатывали и продвигали их в первую очередь. Приемный узел на другом конце глобальной сети также должен быть мультиплексором «голос - данные», который должен понять, что за тип данных находится в пакете - замеры голоса или пакеты компьютерных данных, - и отсортировать эти данные по своим выходам. Голосовые данные направляются офисной АТС, а компьютерные данные поступают через маршрутизатор в локальную сеть. Часто модуль мультиплексора «голос - данные» встраивается в маршрутизатор. Для передачи голоса в наибольшей степени подходят технологии, работающие с предварительным резервированием полосы пропускания для соединения абонентов, - frame relay, АТМ.

Так как конечные узлы глобальной сети должны передавать данные по каналу связи определенного стандарта, то каждое устройство типа DTE требуется оснастить устройством типа DCE (Data Circuit terminating Equipment) которое обеспечивает необходимый протокол физического уровня данного канала. В зависимости от типа канала для связи с каналами глобальных сетей используются DCE трех основных типов: модемы для работы по выделенным и коммутируемым аналоговым каналам, устройства DSU/CSU для работы по цифровым выделенным каналам сетей технологии TDM и терминальные адаптеры (ТА) для работы по цифровым каналам сетей ISDN. Устройства DTE и DCE обобщенно называют оборудованием, размещаемым на территории абонента глобальной сети - Customer Premises Equipment, CPE.

Если предприятие не строит свою территориальную сеть, а пользуется услугами общественной, то внутренняя структура этой сети его не интересует. Для абонента общественной сети главное - это предоставляемые сетью услуги и четкое определение интерфейса взаимодействия с сетью, чтобы его оконечное оборудование и программное обеспечение корректно сопрягались с соответствующим оборудованием и программным обеспечением общественной сети.

Поэтому в глобальной сети обычно строго описан и стандартизован *интерфейс «пользователь-сеть»* (User-to-Network Interface, UNI). Это необходимо для того, чтобы пользователи могли без проблем подключаться к сети с помощью коммуникационного оборудования любого производителя, который соблюдает стандарт UNI данной технологии (например, X.25).

Протоколы взаимодействия коммутаторов внутри глобальной сети, называемые *интерфейсом «сеть-сеть»* (Network-to-Network Interface, NNI), стандартизуются не всегда. Считается, что организация, создающая глобальную сеть, должна иметь свободу действий,

чтобы самостоятельно решать, как должны взаимодействовать внутренние узлы сети между собой. В связи с этим внутренний интерфейс, в случае его стандартизации, носит название «сеть-сеть», а не «коммутатор-коммутатор», подчеркивая тот факт, что он должен использоваться в основном при взаимодействии двух территориальных сетей различных операторов. Тем не менее если стандарт NNI принимается, то в соответствии с ним обычно организуется взаимодействие всех коммутаторов сети, а не только пограничных.

### Интерфейсы DTE-DCE

Для подключения устройств DCE к аппаратуре, вырабатывающей данные для глобальной сети, то есть к устройствам DTE, существует несколько стандартных интерфейсов, которые представляют собой стандарты физического уровня. К этим стандартам относятся стандарты серии V CCITT, а также стандарты EIA серии RS (Recommended Standards). Две линии стандартов во многом дублируют одни и те же спецификации, но с некоторыми вариациями. Данные интерфейсы позволяют передавать данные со скоростями от 300 бит/с до нескольких мегабит в секунду на небольшие расстояния (15-20 м), достаточные для удобного размещения, например, маршрутизатора и модема.

*Интерфейс RS-232C/V.24* является наиболее популярным низкоскоростным интерфейсом. Первоначально он был разработан для передачи данных между компьютером и модемом со скоростью не выше 9600 бит/с на расстояние до 15 метров. Позднее практические реализации этого интерфейса стали работать и на более высоких скоростях - до 115200 бит/с. Интерфейс поддерживает как асинхронный, так и синхронный режим работы. Особую популярность этот интерфейс получил после его реализации в персональных компьютерах (его поддерживают COM - порты), где он работает, как правило, только в асинхронном режиме и позволяет подключить к компьютеру не только коммуникационное устройство (такое, как модем), но и многие другие периферийные устройства - мышшь, графопостроитель и т. д.

Интерфейс использует 25-контактный разъем или в упрощенном варианте - 9-контактный разъем (рис. 6.3).



**Рис. 6.3.** Сигналы интерфейса RS-232C/ V.24

Для обозначения сигнальных цепей используется нумерация ССИТТ, которая получила название «серия 100». Существуют также двухбуквенные обозначения ЕИА, которые на рисунке не показаны.

В интерфейсе реализован биполярный потенциальный код (+V, -V на линиях между DTE и DCE). Обычно используется довольно высокий уровень сигнала: 12 или 15 В, чтобы более надежно распознавать сигнал на фоне шума.

При асинхронной передаче данных синхронизирующая информация содержится в самих кодах данных, поэтому сигналы синхронизации TxClk и RxClk отсутствуют. При синхронной передаче данных модем (DCE) передает на компьютер (DTE) сигналы синхронизации, без которых компьютер не может правильно интерпретировать потенциальный код, поступающий от модема по линии RxD. В случае когда используется код с несколькими состояниями (например, QAM), то один тактовый сигнал соответствует нескольким битам информации.

*Нуль-модемный интерфейс* характерен для прямой связи компьютеров на небольшом расстоянии с помощью интерфейса RS-232C/V.24. В этом случае необходимо применить специальный нуль-модемный кабель, так как каждый компьютер будет ожидать приема данных по линии RxD, что в случае применения модема будет корректно, но в случае прямого соединения компьютеров - нет. Кроме того, нуль-модемный кабель должен имитировать процесс соединения и разрыва через модемы, в котором используется несколько линий (RI, CB и т. д.). Поэтому для нормальной работы двух непосредственно соединенных компьютеров нуль-модемный кабель должен выполнять следующие соединения:

- RI-1+DSR-1- DTR-2;
- DTR-1-RI-2+DSR-2;
- CD-1-CTS-2+RTS-2;
- CTS-1+RTS-1-CD-2;
- RxD-1-TxD-2;
- TxD-1-RxD-2;
- SIG-1-SIG-1;
- SHG-1-SHG-2.

Знак «+» обозначает соединение соответствующих контактов на одной стороне кабеля.

Иногда при изготовлении нуль-модемного кабеля ограничиваются только перекрестным соединением линий приемника RxD и передатчика TxD, что для некоторого программного обеспечения бывает достаточно, но в общем случае может привести к некорректной работе программ, рассчитанных на реальные модемы.

*Интерфейс RS-449/V.10/V.11* поддерживает более высокую скорость обмена данными и большую удаленность DCE от DTE. Этот интерфейс имеет две отдельные спецификации электрических сигналов. Спецификация RS-423/V.10 (аналогичные параметры имеет спецификация X.26) поддерживает скорость обмена до 100000 бит/с на расстоянии до 10 м скорость до 10000 бит/с на расстоянии до 100 м. Спецификация RS-422/V.11(X 27) поддерживает скорость до 10 Мбит/с на расстоянии до 10 м скорость до 1 Мбит/с на расстоянии до 100 м. Как и RS-232C, интерфейс RS4 - 49 поддерживает асинхронный и синхронный режимы обмена между DTE и DCE. Для соединения используется 37-контактный разъем.

*Интерфейс V.35* был разработан для подключения синхронных модемов. Он обеспечивает только синхронный режим обмена между DTE и DCE на скорости до 168 Кбит/с. Для синхронизации обмена используются специальные тактирующие линии. Максимальное расстояние между DTE и DCE не превышает 15 м, как и в интерфейсе RS-232C.

*Интерфейс X.21* разработан для синхронного обмена данными между DTE и DCE в сетях с коммутацией пакетов X.25. Это достаточно сложный интерфейс, который поддерживает процедуры установления соединения в сетях с коммутацией пакетов и каналов. Интерфейс был рассчитан на цифровые DCE. Для поддержки синхронных модемов была разработана версия интерфейса X.21 bis, которая имеет несколько вариантов спецификации электрических сигналов: RS-232C, V.10, V.11 и V.35.

*Интерфейс «токовая петля 20 л<Л>* используется для увеличения расстояния между DTE и DCE. Сигналом является не потенциал, а ток величиной 20 мА, протекающий в замкнутом контуре передатчика и приемника. Дуплексный обмен реализован на двух токовых петлях. Интерфейс работает только в асинхронном режиме. Расстояние между DTE и DCE может составлять несколько километров, а скорость передачи - до 20 Кбит/с.

*Интерфейс HSSI (High-Speed Serial Interface)* разработан для подключения к устройствам DCE, работающим на высокоскоростные каналы, такие как каналы T3 (45 Мбит/с), SONET OC-1 (52 Мбит/с). Интерфейс работает в синхронном режиме и поддерживает передачу данных в диапазоне скоростей от 300 Кбит/с до 52 Мбит/с.

### **6.1.2. Типы глобальных сетей**

Приведенная на рис. 6.2 глобальная вычислительная сеть работает в наиболее подходящем для компьютерного трафика режиме - режиме коммутации пакетов. Оптимальность этого режима для связи локальных сетей доказывают не только данные о суммарном трафике, передаваемом сетью в единицу времени, но и стоимость услуг такой территориальной сети. Обычно при равенстве предоставляемой скорости доступа сеть с коммутацией пакетов оказывается в 2-3 раза дешевле, чем сеть с коммутацией каналов, то есть публичная телефонная сеть.

Поэтому при создании корпоративной сети необходимо стремиться к построению или использованию услуг территориальной сети со структурой, подобной структуре, приведенной на рис. 6.2, то есть сети с территориально распределенными коммутаторами пакетов.

Однако часто такая вычислительная глобальная сеть по разным причинам оказывается недоступной в том или ином географическом пункте. В то же время гораздо более распространены и доступны услуги, предоставляемые телефонными сетями или первичными сетями, поддерживающими услуги выделенных каналов. Поэтому при построении корпоративной сети можно дополнить недостающие компоненты услугами и оборудованием, арендуемыми у владельцев первичной или телефонной сети.

В зависимости от того, какие компоненты приходится брать в аренду, принято различать корпоративные сети, построенные с использованием:

- выделенных каналов;
- коммутации каналов;
- коммутации пакетов.

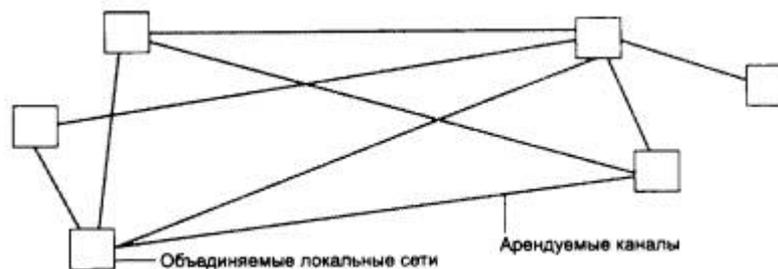
Последний случай соответствует наиболее благоприятному случаю, когда сеть с коммутацией пакетов доступна во всех географических точках, которые нужно объединить в общую корпоративную сеть. Первые два случая требуют проведения дополнительных работ, чтобы на основании взятых в аренду средств построить сеть с коммутацией пакетов.

### **Выделенные каналы**

Выделенные (или арендуемые - leased) каналы можно получить у телекоммуникационных компаний, которые владеют каналами дальней связи (таких, например, как «РОСТЕЛЕКОМ»), или от телефонных компаний, которые обычно сдают в аренду каналы в пределах города или региона.

Использовать выделенные линии можно двумя способами. Первый состоит в построении с их помощью территориальной сети определенной технологии, например frame relay, в которой арендуемые выделенные линии служат для соединения промежуточных, территориально распределенных коммутаторов пакетов, как в случае, приведенном на рис. 6.2.

Второй вариант - соединение выделенными линиями только объединяемых локальных сетей или конечных абонентов другого типа, например мэйнфреймов, без установки транзитных коммутаторов пакетов, работающих по технологии глобальной сети (рис. 6.4). Второй вариант является наиболее простым с технической точки зрения, так как основан на использовании маршрутизаторов или удаленных мостов в объединяемых локальных сетях и отсутствии протоколов глобальных технологий, таких как X.25 или frame relay. По глобальным каналам передаются те же пакеты сетевого или канального уровня, что и в локальных сетях.



**Рис.6.4.** Использование выделенных каналов

Именно второй способ использования глобальных каналов получил специальное название «услуги выделенных каналов», так как в нем действительно больше ничего из технологий собственно глобальных сетей с коммутацией пакетов не используется.

Выделенные каналы очень активно применялись совсем в недалеком прошлом и применяются сегодня, особенно при построении ответственных магистральных связей между крупными локальными сетями, так как эта услуга гарантирует пропускную способность арендуемого канала. Однако при большом количестве географически удаленных точек и интенсивном смешанном трафике между ними использование этой службы приводит к высоким затратам за счет большого количества арендуемых каналов.

Сегодня существует большой выбор выделенных каналов - от аналоговых каналов тональной частоты с полосой пропускания 3,1 кГц до цифровых каналов технологии SDH с пропускной способностью 155 и 622 Мбит/с.

### **Глобальные сети с коммутацией каналов**

Сегодня для построения глобальных связей в корпоративной сети доступны сети с коммутацией каналов двух типов - традиционные аналоговые телефонные сети и цифровые сети с интеграцией услуг ISDN. Достоинством сетей с коммутацией каналов является их распространенность, что характерно особенно для аналоговых телефонных сетей. В последнее время сети ISDN во многих странах также стали вполне доступны корпоративному пользователю, а в России это утверждение относится пока только к крупным городам.

Известным недостатком аналоговых телефонных сетей является низкое качество составного канала, которое объясняется использованием телефонных коммутаторов устаревших моделей, работающих по принципу частотного уплотнения каналов (FDM-технологии). На такие коммутаторы сильно воздействуют внешние помехи (например, грозовые разряды или работающие электродвигатели), которые трудно отличить от полезного сигнала. Правда, в аналоговых телефонных сетях все чаще используются цифровые АТС, которые между собой передают голос в цифровой форме. Аналоговым в таких сетях остается только абонентское окончание. Чем больше цифровых АТС в телефонной сети, тем выше качество канала, однако до полного вытеснения АТС, работающих по принципу FDM-коммутации, в нашей стране еще далеко. Кроме качества каналов, аналоговые телефонные сети также обладают таким недостатком, как большое время установления соединения, особенно при импульсном способе набора номера, характерного для нашей страны.

Телефонные сети, полностью построенные на цифровых коммутаторах, и сети ISDN свободны от многих недостатков традиционных аналоговых телефонных сетей. Они предоставляют пользователям высококачественные линии связи, а время установления соединения в сетях ISDN существенно сокращено.

Однако даже при качественных каналах связи, которые могут обеспечить сети с коммутацией каналов, для построения корпоративных глобальных связей эти сети могут оказаться экономически неэффективными. Так как в таких сетях пользователи платят не за объем переданного трафика, а за время соединения, то при трафике с большими пульсациями и, соответственно, большими паузами между пакетами оплата идет во многом не за передачу, а за ее отсутствие. Это прямое следствие плохой приспособленности метода коммутации каналов для соединения компьютеров.

Тем не менее при подключении массовых абонентов к корпоративной сети, например сотрудников предприятия, работающих дома, телефонная сеть оказывается единственным подходящим видом глобальной службы из соображений доступности и стоимости (при небольшом времени связи удаленного сотрудника с корпоративной сетью).

### **Глобальные сети с коммутацией пакетов**

В 80-е годы для надежного объединения локальных сетей и крупных компьютеров в корпоративную сеть использовалась практически одна технология глобальных сетей с коммутацией пакетов - X.25. Сегодня выбор стал гораздо шире, помимо сетей X.25 он

включает такие технологии, как frame relay, SMDS и АТМ. Кроме этих технологий, разработанных специально для глобальных компьютерных сетей, можно воспользоваться услугами территориальных сетей TCP/IP, которые доступны сегодня как в виде недорогой и очень распространенной сети Internet, качество транспортных услуг которой пока практически не регламентируется и оставляет желать лучшего, так и в виде коммерческих глобальных сетей TCP/IP, изолированных от Internet и предоставляемых в аренду телекоммуникационными компаниями.

В табл. 6.1 приводятся характеристики этих сетей, причем в графе «Трафик» указывается тип трафика, который наиболее подходит для данного типа сетей, а в графе «Скорость доступа» - наиболее типичный диапазон скоростей, предоставляемых поставщиками услуг этих сетей.

**Таблица 6.1.** Характеристики сетей с коммутацией пакетов

Тип сети	Скорость доступа	Трафик	Примечания
X.25	1,2–64 Кбит/с	Терминальный	Большая избыточность протоколов, хорошо работают на каналах низкого качества
Frame Relay	от 64 Кбит/с до 2 Мбит/с	Компьютерный	Сравнительно новые сети, хорошо передают пульсации трафика, в основном поддерживают службу постоянных виртуальных каналов
SMDS	1,544–45 Мбит/с	Компьютерный, графика, голос, видео	Сравнительно новые сети, распространены в крупных городах Америки, вытесняются сетями АТМ
АТМ	1,544–155 Мбит/с	Компьютерный, графика, голос, видео	Новые сети, коммерческая эксплуатация началась с 1996 года, пока используются в основном для передачи компьютерного трафика
TCP/IP	1,2–2,048 Кбит/с	Терминальный, компьютерный	Широко распространены в некоммерческом варианте — сети Internet, коммерческие услуги пока слабые

Принципы работы сетей TCP/IP уже были подробно рассмотрены в главе 5. Эти принципы остаются неизменными и при включении в состав этих сетей глобальных сетей различных технологий. Для остальных технологий, кроме SMDS, будут рассмотрены принципы доставки пакетов, пользовательский интерфейс и типы оборудования доступа к сетям данных технологий.

Технология SMDS (Switched Multi-megabit Data Service) была разработана в США для объединения локальных сетей в масштабах мегаполиса, а также предоставления высокоскоростного выхода в глобальные сети. Эта технология поддерживает скорости доступа до 45 Мбит/с и сегментирует кадры MAC - уровня в ячейки фиксированного размера 53 байт, имеющие, как и ячейки технологии АТМ, поле данных в 48 байт. Технология SMDS основана на стандарте IEEE 802.6, который описывает несколько более широкий набор функций, чем SMDS. Стандарты SMDS приняты компанией Bellcore, но международного статуса не имеют. Сети SMDS были реализованы во многих крупных городах США, однако в других странах эта технология распространения не получила.

Сегодня сети SMDS вытесняются сетями ATM, имеющими более широкие функциональные возможности, поэтому в данной книге технология SMDS подробно не рассматривается.

### **Магистральные сети и сети доступа**

Целесообразно делить территориальные сети, используемые для построения корпоративной сети, на две большие категории:

- магистральные сети;
- сети доступа.

*Магистральные территориальные сети (backbone wide-area networks)* используются для образования одноранговых связей между крупными локальными сетями, принадлежащими большим подразделениям предприятия. Магистральные территориальные сети должны обеспечивать высокую пропускную способность, так как на магистрали объединяются потоки большого количества подсетей. Кроме того, магистральные сети должны быть постоянно доступны, то есть обеспечивать очень высокий коэффициент готовности, так как по ним передается трафик многих критически важных для успешной работы предприятия приложений (business-critical applications). Ввиду особой важности магистральных средств им может «прощаться» высокая стоимость. Так как у предприятия обычно имеется не так уж много крупных сетей, то к магистральным сетям не предъявляются требования поддержания разветвленной инфраструктуры доступа.

Обычно в качестве магистральных сетей используются цифровые выделенные каналы со скоростями от 2 до 622 Мбит/с, по которым передается трафик IP, IPX или протоколов архитектуры SNA компании IBM, сети с коммутацией пакетов frame relay, ATM, X.25 или TCP/IP. При наличии выделенных каналов для обеспечения высокой готовности магистрали используется смешанная избыточная топология связей, как это показано на рис. 6.5.

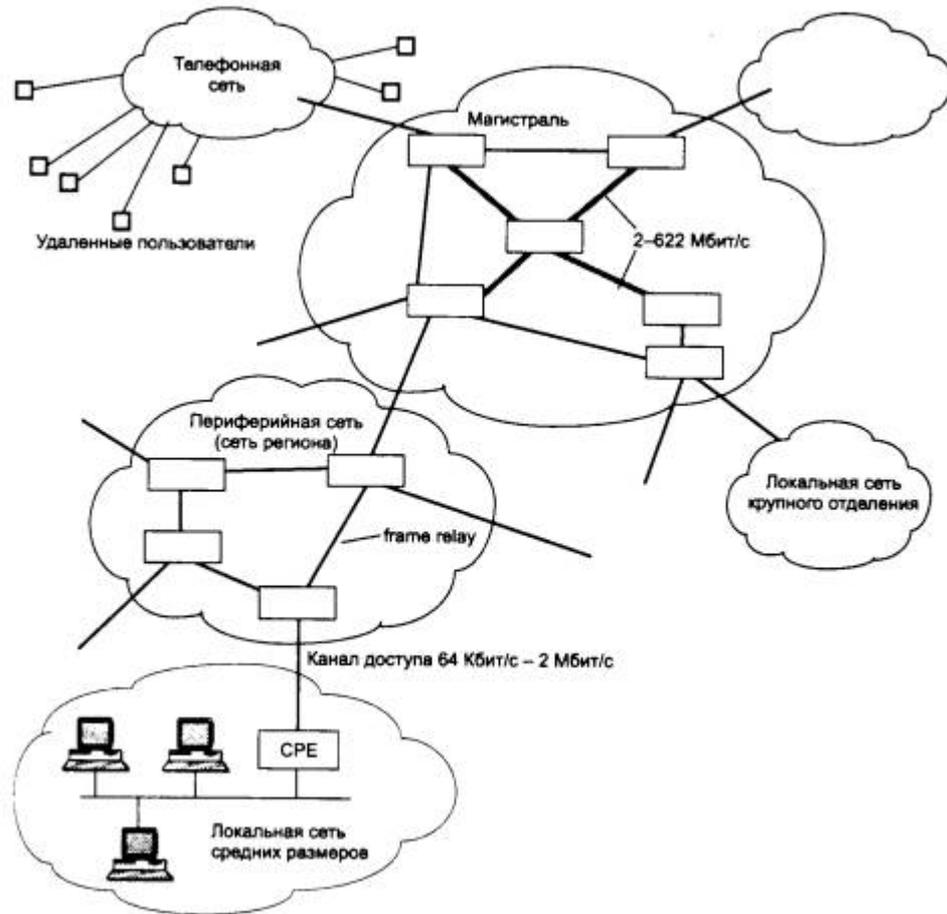


Рис. 6.5. Структура глобальной сети предприятия

Под *сетями доступа* понимаются территориальные сети, необходимые для связи небольших локальных сетей и отдельных удаленных компьютеров с центральной локальной сетью предприятия. Если организации магистральных связей при создании корпоративной сети всегда уделялось большое внимание, то организация удаленного доступа сотрудников предприятия перешла в разряд стратегически важных вопросов только в последнее время. Быстрый доступ к корпоративной информации из любой географической точки определяет для многих видов деятельности предприятия качество принятия решений его сотрудниками. Важность этого фактора растет с увеличением числа сотрудников, работающих на дому (telecommuters - телекомьютеров), часто находящихся в командировках, и с ростом количества небольших филиалов предприятий, находящихся в различных городах и, может быть, разных странах.

В качестве отдельных удаленных узлов могут также выступать банкоматы или кассовые аппараты, требующие доступа к центральной базе данных для получения информации о легальных клиентах банка, пластиковые карточки которых необходимо авторизовать на месте. Банкоматы или кассовые аппараты обычно рассчитаны на взаимодействие с центральным компьютером по сети X.25, которая в свое время специально разрабатывалась как сеть для удаленного доступа неинтеллектуального терминального оборудования к центральному компьютеру.

К сетям доступа предъявляются требования, существенно отличающиеся от требований к магистральным сетям. Так как точек удаленного доступа у предприятия может быть очень

много, одним из основных требований является наличие разветвленной инфраструктуры доступа, которая может использоваться сотрудниками предприятия как при работе дома, так и в командировках. Кроме того, стоимость удаленного доступа должна быть умеренной, чтобы экономически оправдать затраты на подключение десятков или сотен удаленных абонентов. При этом требования к пропускной способности у отдельного компьютера или локальной сети, состоящей из двух-трех клиентов, обычно укладываются в диапазон нескольких десятков килобит в секунду (если такая скорость и не вполне удовлетворяет удаленного клиента, то обычно удобствами его работы жертвуют ради экономии средств предприятия).

В качестве сетей доступа обычно применяются телефонные аналоговые сети, сети ISDN и реже - сети frame relay. При подключении локальных сетей филиалов также используются выделенные каналы со скоростями от 19,2 до 64 Кбит/с. Качественный скачок в расширении возможностей удаленного доступа произошел в связи со стремительным ростом популярности и распространенности Internet. Транспортные услуги Internet дешевле, чем услуги междугородных и международных телефонных сетей, а их качество быстро улучшается.

Программные и аппаратные средства, которые обеспечивают подключение компьютеров или локальных сетей удаленных пользователей к корпоративной сети, называются *средствами удаленного доступа*. Обычно на клиентской стороне эти средства представлены модемом и соответствующим программным обеспечением.

Организацию массового удаленного доступа со стороны центральной локальной сети обеспечивает *сервер удаленного доступа (Remote Access Server, RAS)*. Сервер удаленного доступа представляет собой программно-аппаратный комплекс, который совмещает функции маршрутизатора, моста и шлюза. Сервер выполняет ту или иную функцию в зависимости от типа протокола, по которому работает удаленный пользователь или удаленная сеть. Серверы удаленного доступа обычно имеют достаточно много низкоскоростных портов для подключения пользователей через аналоговые телефонные сети или ISDN.

Показанная на рис. 6.5. структура глобальной сети, используемой для объединения в корпоративную сеть отдельных локальных сетей и удаленных пользователей, достаточно типична. Она имеет ярко выраженную иерархию территориальных транспортных средств, включающую высокоскоростную магистраль (например, каналы SDH 155-622 Мбит/с), более медленные территориальные сети доступа для подключения локальных сетей средних размеров (например, frame relay) и телефонную сеть общего назначения для удаленного доступа сотрудников.

## **Выводы**

- Глобальные компьютерные сети (WAN) используются для объединения абонентов разных типов: отдельных компьютеров разных классов - от мэйнфреймов до персональных компьютеров, локальных компьютерных сетей, удаленных терминалов.
- Ввиду большой стоимости инфраструктуры глобальной сети существует острая потребность передачи по одной сети всех типов трафика, которые возникают на предприятии, а не только компьютерного: голосового трафика внутренней телефонной сети, работающей на офисных АТС (PBX), трафика факс-аппаратов,

видеокамер, кассовых аппаратов, банкоматов и другого производственного оборудования.

- Для поддержки мультимедийных видов трафика создаются специальные технологии: ISDN, B-ISDN. Кроме того, технологии глобальных сетей, которые разрабатывались для передачи исключительно компьютерного трафика, в последнее время адаптируются для передачи голоса и изображения. Для этого пакеты, переносящие замеры голоса или данные изображения, приоритизируются, а в тех технологиях, которые это допускают, для их переноса создается соединение с заранее резервируемой пропускной способностью. Имеются специальные устройства доступа - мультиплексоры «голос - данные» или «видео - данные», которые упаковывают мультимедийную информацию в пакеты и отправляют ее по сети, а на приемном конце распаковывают и преобразуют в исходную форму - голос или видеоизображение.
- Глобальные сети предоставляют в основном транспортные услуги, транзитом перенося данные между локальными сетями или компьютерами. Существует нарастающая тенденция поддержки служб прикладного уровня для абонентов глобальной сети: распространение публично-доступной аудио-, видео- и текстовой информации, а также организация интерактивного взаимодействия абонентов сети в реальном масштабе времени. Эти службы появились в Internet и успешно переносятся в корпоративные сети, что называется технологией intranet.
- Все устройства, используемые для подключения абонентов к глобальной сети, делятся на два класса: DTE, собственно вырабатывающие данные, и DCE, служащие для передачи данных в соответствии с требованиями интерфейса глобального канала и завершающие канал.
- Технологии глобальных сетей определяют два типа интерфейса: «пользователь-сеть» (UNI) и «сеть-сеть» (NNI). Интерфейс UNI всегда глубоко детализирован для обеспечения подключения к сети оборудования доступа от разных производителей. Интерфейс NNI может быть детализирован не так подробно, так как взаимодействие крупных сетей может обеспечиваться на индивидуальной основе.
- Глобальные компьютерные сети работают на основе технологии коммутации пакетов, кадров и ячеек. Чаще всего глобальная компьютерная сеть принадлежит телекоммуникационной компании, которая предоставляет службы своей сети в аренду. При отсутствии такой сети в нужном регионе предприятия самостоятельно создают глобальные сети, арендуя выделенные или коммутируемые каналы у телекоммуникационных или телефонных компаний.
- На арендованных каналах можно построить сеть с промежуточной коммутацией на основе какой-либо технологии глобальной сети (X.25, frame relay, АТМ) или же соединять арендованными каналами непосредственно маршрутизаторы или мосты локальных сетей. Выбор способа использования арендованных каналов зависит от количества и топологии связей между локальными сетями.
- Глобальные сети делятся на магистральные сети и сети доступа.

## **6.2. Глобальные связи на основе выделенных линий**

*Выделенный канал* - это канал с фиксированной полосой пропускания или фиксированной пропускной способностью, постоянно соединяющий двух абонентов. Абонентами могут быть как отдельные устройства (компьютеры или терминалы), так и целые сети.

Выделенные каналы обычно арендуются у компаний - операторов территориальных сетей, хотя крупные корпорации могут прокладывать свои собственные выделенные каналы.

Выделенные каналы делятся на аналоговые и цифровые в зависимости от того, какого типа коммутационная аппаратура применена для постоянной коммутации абонентов - FDM или TDM. На аналоговых выделенных линиях для аппаратуры передачи данных физический и канальный протоколы жестко не определены. Отсутствие физического протокола приводит к тому, что пропускная способность аналоговых каналов зависит от пропускной способности модемов, которые использует пользователь канала. Модем собственно и устанавливает нужный ему протокол физического уровня для канала.

На цифровых выделенных линиях протокол физического уровня зафиксирован - он задан стандартом G.703.

На канальном уровне аналоговых и цифровых выделенных каналов обычно используется один из протоколов семейства HDLC или же более поздний протокол PPP, построенный на основе HDLC для связи многопротокольных сетей.

### **6.2.1. Аналоговые выделенные линии**

#### **Типы аналоговых выделенных линий**

Выделенные аналоговые каналы предоставляются пользователю с 4-проводным или 2-проводным окончанием. На каналах с 4-проводным окончанием организация полнодуплексной связи, естественно, выполняется более простыми способами.

Выделенные линии могут быть разделены на две группы по другому признаку -наличию промежуточной аппаратуры коммутации и усиления или ее отсутствию.

Первую группу составляют так называемые нагруженные линии, проходящие через оборудование частотного уплотнения (FDM-коммутаторы и мультиплексоры), расположенное, например, на АТС. Телефонные компании обычно предоставляют в аренду два типа выделенных каналов: канал тональной частоты с полосой пропускания 3,1 кГц и широкополосный канал с полосой 48 кГц, который представляет собой *базовую группу* из 12 каналов тональной частоты. Широкополосный канал имеет границы полосы пропускания от 60 до 108 кГц. Так как широкополосный канал используется для связи АТС между собой, то получение его в аренду более проблематично, чем канала тональной частоты.

Выделенные нагруженные каналы также классифицируются на категории в зависимости от их качества. От категории качества зависит и арендная месячная плата за канал.

Вторая группа выделенных линий - это ненагруженные физические проводные линии. Они могут кроссироваться, но при этом не проходят через аппаратуру частотного уплотнения. Часто такие линии используются для связи между близко стоящими зданиями. Разветвленные сети каналов, представляющих собой ненагруженные линии, используются, например, муниципальными службами (энергонадзора, водопровода, пожарной охраны и др.) для передачи технологической информации. При небольшой длине ненагруженной выделенной линии она обладает достаточно широкой полосой пропускания, иногда до 1 МГц, что позволяет передавать импульсные немодулированные сигналы. На первый взгляд может показаться, что ненагруженные линии не имеют отношения к глобальным сетям, так как их можно использовать при протяженности максимум в несколько километров, иначе затухание становится слишком большим для передачи данных. Однако в последнее время именно этот вид выделенных каналов

привлекает пристальное внимание разработчиков средств удаленного доступа. Дело в том, что телефонные абонентские окончания - отрезок витой пары от АТС до жилого или производственного здания - представляют собой именно такой вид каналов. Широкая (хотя и заранее точно неизвестная) полоса пропускания этих каналов позволяет развить на коротком отрезке линии высокую скорость - до нескольких мегабит в секунду. В связи с этим до ближайшей АТС данные от удаленного компьютера или сети можно передавать гораздо быстрее, чем по каналам тональной частоты, которые начинаются в данной АТС. Использование выделенных ненагруженных каналов подробно рассматривается в разделе 6.5, посвященном удаленному доступу.

### **Модемы для работы на выделенных каналах**

Для передачи данных по выделенным нагруженным аналоговым линиям используются модемы, работающие на основе методов аналоговой модуляции сигнала, рассмотренных в главе 2. Протоколы и стандарты модемов определены в рекомендациях CCITT серии V. Эти стандарты делятся на три группы:

- стандарты, определяющие скорость передачи данных и метод кодирования;
- стандарты исправления ошибок;
- стандарты сжатия данных.

Эти стандарты определяют работу модемов как для выделенных, так и коммутируемых линий. Модемы можно также классифицировать в зависимости от того, какой режимы работы они поддерживают (асинхронный, синхронный или оба этих режима), а также к какому окончанию (4-проводному или 2-проводному) они подключены.

В отношении режима работы модемы делятся на три группы:

- модемы, поддерживающие только асинхронный режим работы;
- модемы, поддерживающие асинхронный и синхронный режимы работы;
- модемы, поддерживающие только синхронный режим работы.

Модемы, работающие *только в асинхронном режиме*, обычно поддерживают низкую скорость передачи данных - до 1200 бит/с. Так, модемы, работающие по стандарту V.23, могут обеспечивать скорость 1200 бит/с на 4-проводной выделенной линии в дуплексном асинхронном режиме, а по стандарту V.21 - на скорости 300 бит/с по 2-проводной выделенной линии также в дуплексном асинхронном режиме. Дуплексный режим на 2-проводном окончанию обеспечивается частотным разделением канала. Асинхронные модемы представляют наиболее дешевый вид модемов, так как им не требуются высокоточные схемы синхронизации сигналов на кварцевых генераторах. Кроме того, асинхронный режим работы неприхотлив к качеству линии.

Модемы, работающие *только в синхронном режиме*, могут подключаться только к 4-проводному окончанию. Синхронные модемы используют для выделения сигнала высокоточные схемы синхронизации и поэтому обычно значительно дороже асинхронных модемов. Кроме того, синхронный режим работы предъявляет высокие требования к качеству линии.

Для выделенного канала тональной частоты с 4-проводным окончанием разработано достаточно много стандартов серии V. Все они поддерживают дуплексный режим:

- V.26 - скорость передачи 2400 бит/с;
- V.27 - скорость передачи 4800 бит/с;
- V.29 - скорость передачи 9600 бит/с;
- V.32 ter - скорость передачи 19 200 бит/с.

Для выделенного широкополосного канала 60-108 кГц существуют три стандарта:

- V.35 - скорость передачи 48 Кбит/с;
- V.36 - скорость передачи 48-72 Кбит/с;
- V.37-скорость передачи 96-168 Кбит/с.

Коррекция ошибок в синхронном режиме работы обычно реализуется по протоколу HDLC, но допустимы и устаревшие протоколы SDLC и BSC компании IBM. Модемы стандартов V.35, V.36 и V.37 используют для связи с DTE интерфейс V.35.

Модемы, *работающие в асинхронном и синхронном режимах*, являются наиболее универсальными устройствами. Чаще всего они могут работать как по выделенным, так и по коммутируемым каналам, обеспечивая дуплексный режим работы. На выделенных каналах они поддерживают в основном 2-проводное окончание и гораздо реже - 4-проводное.

Для асинхронно-синхронных модемов разработан ряд стандартов серии V:

- V.22 - скорость передачи до 1200 бит/с;
- V.22 bis - скорость передачи до 2400 бит/с;
- V.26 ter - скорость передачи до 2400 бит/с;
- V.32 - скорость передачи до 9600 бит/с;
- V.32 bis - скорость передачи 14 400 бит/с;
- V.34 - скорость передачи до 28,8 Кбит/с;
- V.34+ - скорость передачи до 33,6 Кбит/с.

Стандарт V.34, принятый летом 1994 года, знаменует новый подход к передаче данных по каналу тональной частоты. Этот стандарт разрабатывался ССИТТ довольно долго - с 1990 года. Большой вклад в его разработку внесла компания Motorola, которая является одним из признанных лидеров этой отрасли. Стандарт V.34 разрабатывался для передачи информации по каналам практически любого качества. Особенностью стандарта являются процедуры динамической адаптации к изменениям характеристик канала во время обмена информацией. Адаптация осуществляется в ходе сеанса связи - без прекращения и без разрыва установленного соединения.

Основное отличие V.34 от предшествующих стандартов заключается в том, что в нем определено 10 процедур, по которым модем после тестирования линии выбирает свои основные параметры: несущую и полосу пропускания (выбор проводится из 11 комбинаций), фильтры передатчика, оптимальный уровень передачи и другие. Первоначальное соединение модемов проводится по стандарту V.21 на минимальной скорости 300 бит/с, что позволяет работать на самых плохих линиях. Для кодирования данных используются избыточные коды квадратурной амплитудной модуляции QAM. Применение адаптивных процедур сразу позволило поднять скорость передачи данных более чем в 2 раза по сравнению с предыдущим стандартом - V.32 bis.

Принципы адаптивной настройки к параметрам линии были развиты в стандарте V.34+, который является усовершенствованным вариантом стандарта V.34. Стандарт V.34+ позволил несколько повысить скорость передачи данных за счет усовершенствования метода кодирования. Один передаваемый кодовый символ несет в новом стандарте в среднем не 8,4 бита, как в протоколе V.34, а 9,8. При максимальной скорости передачи кодовых символов в 3429 бод (это ограничение преодолеть нельзя, так как оно определяется полосой пропускания канала тональной частоты) усовершенствованный метод кодирования дает скорость передачи данных в 33,6 Кбит/с ( $3429 \times 9,8 = 33604$ ). Правда, специалисты отмечают, что даже в Америке только 30 % телефонных линий смогут обеспечить такой низкий уровень помех, чтобы модемы V.34+ смогли работать на максимальной скорости. Тем не менее модемы стандарта V.34+ имеют преимущества по сравнению с модемами V.34 даже на зашумленных линиях - они лучше «держат» связь, чем модемы V.34.

Протоколы V.34 и V.34+ позволяют работать на 2-проводной выделенной линии в дуплексном режиме. Дуплексный режим передачи в стандартах V.32, V.34, V.34+ обеспечивается не с помощью частотного разделения канала, а с помощью одновременной передачи данных в обоих направлениях. Принимаемый сигнал определяется вычитанием с помощью сигнальных процессоров (DSP) передаваемого сигнала из общего сигнала в канале. Для этой операции используются также процедуры эхо - подавления, так как передаваемый сигнал, отражаясь от ближнего и дальнего концов канала, вносит искажения в общий сигнал (метод передачи данных, описанный в проекте стандарта 802.3аБ, определяющего работу технологии Gigabit Ethernet на витой паре категории 5, взял многое из стандартов V.32-V.34+).

На высокой скорости модемы V.32-V.34+ фактически всегда используют в канале связи синхронный режим. При этом они могут работать с DTE как по асинхронному интерфейсу, так и по синхронному. В первом случае модем преобразует асинхронные данные в синхронные.

Модемы различаются не только поддерживаемыми протоколами, но и определенной ориентацией на область применения. Различают профессиональные модемы, которые предназначены для работы в модемных пулах корпоративных сетей, и модемы для применения в небольших офисах или на дому.

Профессиональные модемы отличаются высокой надежностью, способностью устойчиво работать в непрерывном режиме и поддержкой средств удаленного централизованного управления. Обычно система управления модемными стойками поставляется отдельно и оправдывает себя в условиях большого предприятия. Стандарт V.34 выделяет в общей полосе пропускания линии отдельную полосу для управления модемом по тому же каналу, по которому передаются и пользовательские данные.

Типовая структура соединения двух компьютеров или локальных сетей через маршрутизатор с помощью выделенной аналоговой линии приведена на рис. 6.6. В случае 2-проводного окончания (см. рис. 6.6, а) для обеспечения дуплексного режима модем использует трансформаторную развязку. Телефонная сеть благодаря своей схеме развязки обеспечивает разъединение потоков данных, циркулирующих в разных направлениях. При наличии 4-проводного окончания (см. рис. 6.6, б) схема модема упрощается.

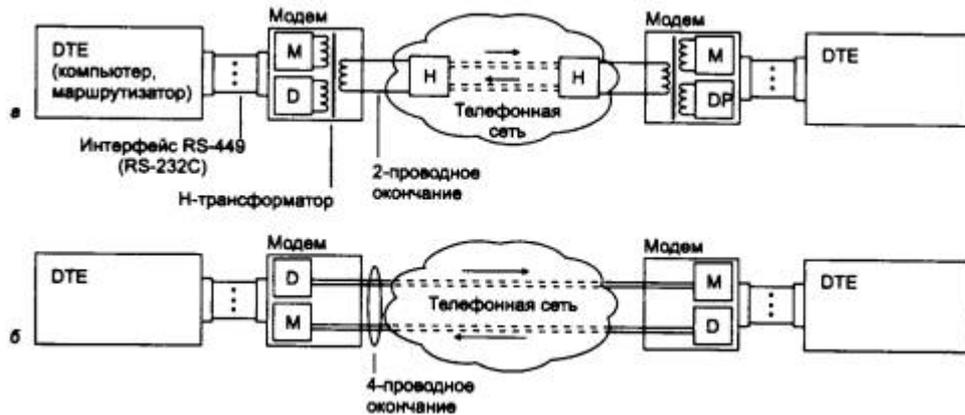


Рис. 6.6. Соединение локальных сетей или компьютеров по выделенному каналу

### 6.2.2. Цифровые выделенные линии

Цифровые выделенные линии образуются путем постоянной коммутации в первичных сетях, построенных на базе коммутационной аппаратуры, работающей на принципах разделения канала во времени - TDM, описанного в главе 2. Существуют два поколения технологий цифровых первичных сетей - технология плезихронной («плезихо» означает «почти», то есть почти синхронной) цифровой иерархии (Plesiochronic Digital Hierarchy, PDH) и более поздняя технология - синхронная цифровая иерархия (Synchronous Digital Hierarchy, SDH). В Америке технологии SDH соответствует стандарт SONET.

#### Технология плезихронной цифровой иерархии PDH

Цифровая аппаратура мультиплексирования и коммутации была разработана в конце 60-х годов компанией AT&T для решения проблемы связи крупных коммутаторов телефонных сетей между собой. Каналы с частотным уплотнением, применяемые до этого на участках АТС-АТС, исчерпали свои возможности по организации высокоскоростной многоканальной связи по одному кабелю. В технологии FDM для одновременной передачи данных 12 или 60 абонентских каналов использовалась витая пара, а для повышения скорости связи приходилось прокладывать кабели с большим количеством пар проводов или более дорогие коаксиальные кабели. Кроме того, метод частотного уплотнения высоко чувствителен к различного рода помехам, которые всегда присутствуют в территориальных кабелях, да и высокочастотная несущая речи сама создает помехи в приемной аппаратуре, будучи плохо отфильтрована.

Для решения этой задачи была разработана аппаратура T1, которая позволяла в цифровом виде мультиплексировать, передавать и коммутировать (на постоянной основе) данные 24 абонентов. Так как абоненты по-прежнему пользовались обычными телефонными аппаратами, то есть передача голоса шла в аналоговой форме, то мультиплексоры T1 сами осуществляли оцифровывание голоса с частотой 8000 Гц и кодировали голос с помощью импульсно-кодовой модуляции (Pulse Code Modulation, PCM). В результате каждый абонентский канал образовывал цифровой поток данных 64 Кбит/с. Для соединения магистральных АТС каналы T1 представляли собой слишком слабые средства мультиплексирования, поэтому в технологии была реализована идея образования каналов с иерархией скоростей. Четыре канала типа T1 объединяются в канал следующего уровня цифровой иерархии - T2, передающий данные со скоростью 6,312 Мбит/с, а семь каналов T2 дают при объединении канал T3, передающий данные со скоростью 44,736 Мбит/с.

Аппаратура T1, T2 и T3 может взаимодействовать между собой, образуя иерархическую сеть с магистральными и периферийными каналами трех уровней скоростей.

С середины 70-х годов выделенные каналы, построенные на аппаратуре T1, стали сдаваться телефонными компаниями в аренду на коммерческих условиях, перестав быть внутренней технологией этих компаний. Сети T1, а также более скоростные сети T2 и T3 позволяют передавать не только голос, но и любые данные, представленные в цифровой форме, - компьютерные данные, телевизионное изображение, факсы и т. п.

Технология цифровой иерархии была позже стандартизована ССИТТ. При этом в нее были внесены некоторые изменения, что привело к несовместимости американской и международной версий цифровых сетей. Американская версия распространена сегодня кроме США также в Канаде и Японии (с некоторыми различиями), а в Европе применяется международный стандарт. Аналогом каналов T в международном стандарте являются каналы типа E1, E2 и E3 с другими скоростями - соответственно 2,048 Мбит/с, 8,488 Мбит/с и 34,368 Мбит/с. Американский вариант технологии также был стандартизован ANSI.

Несмотря на различия американской и международных версий технологии цифровой иерархии, для обозначения иерархии скоростей принято использовать одни и те же обозначения - DS<sub>n</sub> (Digital Signal n). В табл. 6.2 приводятся значения для всех введенных стандартами уровней скоростей обеих технологий.

**Таблица 6.2.** Иерархия цифровых скоростей

Обозначение скорости	Америка			ССИТТ (Европа)		
	Количество голосовых каналов	Количество каналов предыдущего уровня	Скорость, Мбит/с	Количество голосовых каналов	Количество каналов предыдущего уровня	Скорость, Мбит/с
DS-0	1	1	64 Кбит/с	1	1	64 Кбит/с
DS-1	24	24	1,544	30	30	2,048
DS-2	96	4	6,312	120	4	8,488
DS-3	672	7	44,736	480	4	34,368
DS-4	4032	6	274,176	1920	4	139,264

На практике в основном используются каналы T1/E1 и T3/E3.

Мультиплексор T1 обеспечивает передачу данных 24-х абонентов со скоростью 1,544 Мбит/с в кадре, имеющем достаточно простой формат. В этом кадре последовательно передается по одному байту каждого абонента, а после 24-х байт вставляется один бит синхронизации. Первоначально устройства T1 (которые дали имя также и всей технологии, работающей на скорости 1,544 Мбит/с) работали только на внутренних тактовых генераторах, и каждый кадр с помощью битов синхронизации мог передаваться асинхронно. Аппаратура T1, а также более скоростная аппаратура T2 и T3 за долгие годы существования претерпела значительные изменения. Сегодня мультиплексоры и коммутаторы первичной сети работают на централизованной тактовой частоте, распределяемой из одной точки всей сети. Однако принцип формирования кадра остался, поэтому биты синхронизации в кадре по-прежнему присутствуют. Суммарная скорость пользовательских каналов составляет  $24 \times 64 = 1,536$  Мбит/с, а еще 8 Кбит/с добавляют биты синхронизации.

В аппаратуре T1 назначение восьмого бита каждого байта в кадре разное и зависит от типа передаваемых данных и поколения аппаратуры.

При передаче голоса в сетях T1 все 24 канала являются абонентскими, поэтому управляющая и контрольная информация передается восьмым (наименее значащим) битом замеров голоса. В ранних версиях сетей T1 служебным был 8-й бит каждого байта кадра, поэтому реальная скорость передачи пользовательских данных составляла 56 Кбит/с (обычно восьмой бит отводился под такие служебные данные, как номер вызываемого телефонного абонента, сигнал занятости линии, сигнал снятия трубки и т. п.). Затем технология была улучшена и для служебных целей стали использовать только каждый шестой кадр. Таким образом, в пяти кадрах из шести пользовательские данные представлены всеми восемью битами, а в шестом - только семью.

При передаче компьютерных данных канал T1 предоставляет для пользовательских данных только 23 канала, а 24-й канал отводится для служебных целей, в основном - для восстановления искаженных кадров. Для одновременной передачи как голосовых, так и компьютерных данных используются все 24 канала, причем компьютерные данные передаются со скоростью 56 Кбит/с. Техника использования восьмого бита для служебных целей получила название «кражи бита» (bit robbing).

При мультиплексировании 4-х каналов T1 в один канал T2 между кадрами DS-1 по-прежнему используется один бит синхронизации, а кадры DS-2 (которые состоят из 4-х последовательных кадров DS-1) разделяются 12 служебными битами, которые предназначены не только для разделения кадров, но и для их синхронизации. Соответственно, кадры DS-3 состоят из 7 кадров DS-2, разделенных служебными битами.

Международная версия этой технологии описана в стандартах G.700-G.706. Она более логична, так как не использует схему «кражи бита». Кроме того, она основана на постоянном коэффициенте кратности скорости 4 при переходе к следующему уровню иерархии. Вместо восьмого бита в канале E1 на служебные цели отводятся 2 байта из 32. Для голосовых каналов или каналов данных остается 30 каналов со скоростью передачи 64 Кбит/с каждый.

Пользователь может арендовать несколько каналов 64 Кбит/с (56 Кбит/с) в канале T1/E1. Такой канал называется «дробным» (fractional) каналом T1/E1. В этом случае пользователю отводится несколько тайм - слотов работы мультиплексора.

Физический уровень технологии PDH поддерживает различные виды кабелей: витую пару, коаксиальный кабель и волоконно-оптический кабель. Основным вариантом абонентского доступа к каналам T1/E1 является кабель из двух витых пар с разъемами RJ-48. Две пары требуются для организации дуплексного режима передачи данных со скоростью 1,544/2,048 Мбит/с. Для представления сигналов используется: в каналах T1 биполярный потенциальный код B8ZS, в каналах E1-биполярный потенциальный код HDB3. Для усиления сигнала на линиях T1 через каждые 1800 м (одна миля) устанавливаются регенераторы и аппаратура контроля линии.

Коаксиальный кабель благодаря своей широкой полосе пропускания поддерживает канал T2/E2 или 4 канала T1/E1. Для работы каналов T3/E3 обычно используется либо коаксиальный кабель, либо волоконно-оптический кабель, либо каналы СВЧ.

Физический уровень международного варианта технологии определяется стандартом G.703, названием которого обозначается тип интерфейса маршрутизатора или моста, подключаемого к каналу E1. Американский вариант интерфейса носит название T1.

Как американский, так и международный варианты технологии PDH обладают несколькими недостатками.

Одним из основных недостатков является сложность операций мультиплексирования и демultipлексирования пользовательских данных. Сам термин «плезиохронный», используемый для этой технологии, говорит о причине такого явления - отсутствии полной синхронности потоков данных при объединении низкоскоростных каналов в более высокоскоростные. Изначально асинхронный подход к передаче кадров породил вставку бита или нескольких бит синхронизации между кадрами. В результате для извлечения пользовательских данных из объединенного канала необходимо полностью демultipлексировать кадры этого объединенного канала. Например, если требуется получить данные одного абонентского канала 64 Кбит/с из кадров канала T3, необходимо произвести демultipлексирование этих кадров до уровня кадров T2, затем - до уровня кадров T1, а затем демultipлексировать и сами кадры T1. Для преодоления этого недостатка в сетях PDH реализуют некоторые дополнительные приемы, уменьшающие количество операций демultipлексирования при извлечения пользовательских данных из высокоскоростных каналов. Например, одним из таких приемов является «обратная доставка» (back hauling). Пусть коммутатор 1 канала T3 принимает поток данных, состоящий из 672 пользовательских каналов, при этом он должен передать данные одного из этих каналов пользователю, подключенному к низкоскоростному выходу коммутатора, а весь остальной поток данных направить транзитом через другие коммутаторы в некоторый конечный демultipлексор 2, где поток T3 полностью демultipлексируется на каналы 64 Кбит/с. Для экономии коммутатор 1 не выполняет операцию демultipлексирования своего потока, а получает данные своего пользователя только при их «обратном проходе», когда конечный демultipлексор выполнит операцию разбора кадров и вернет данные одного из каналов коммутатору 1. Естественно, такие сложные взаимоотношения коммутаторов усложняют работу сети, требуют ее тонкого конфигурирования, что ведет к большому объему ручной работы и ошибкам.

Другим существенным недостатком технологии PDH является отсутствие развитых встроенных процедур контроля и управления сетью. Служебные биты дают мало информации о состоянии канала, не позволяют его конфигурировать и т. п. Нет в технологии и процедур поддержки отказоустойчивости, которые очень полезны для первичных сетей, на основе которых строятся ответственные междугородные и международные сети. В современных сетях управлению уделяется большое внимание, причем считается, что управляющие процедуры желательно встраивать в основной протокол передачи данных сети.

Третий недостаток состоит в слишком низких по современным понятиям скоростях иерархии PDH. Волоконно-оптические кабели позволяют передавать данные со скоростями в несколько гигабит в секунду по одному волокну, что обеспечивает консолидацию в одном кабеле десятков тысяч пользовательских каналов, но это свойство технология PDH не реализует - ее иерархия скоростей заканчивается уровнем 139 Мбит/с.

Все эти недостатки устранены в новой технологии первичных цифровых сетей, получившей название *синхронной цифровой иерархии - Synchronous Digital Hierarchy, SDH*.

## Технология синхронной цифровой иерархии SONET/SDH

Технология синхронной цифровой иерархии первоначально была разработана компанией Bellcore под названием «Синхронные оптические сети» - Synchronous Optical NETs, SONET. Первый вариант стандарта появился в 1984 году. Затем эта технология была стандартизована комитетом T1 ANSI. Международная стандартизация технологии проходила под эгидой Европейского института телекоммуникационных стандартов (ETSI) и CCITT совместно с ANSI и ведущими телекоммуникационными компаниями Америки, Европы и Японии. Основной целью разработчиков международного стандарта было создание такой технологии, которая позволяла бы передавать трафик всех существующих цифровых каналов (как американских T1 - T3, так и европейских E1 - E3) в рамках высокоскоростной магистральной сети на волоконно-оптических кабелях и обеспечила бы иерархию скоростей, продолжающую иерархию технологии PDH, до скорости в несколько гигабит в секунду.

В результате длительной работы удалось разработать международный стандарт Synchronous Digital Hierarchy, SDH (спецификации G.707-G.709), а также доработать стандарты SONET таким образом, что аппаратура и стеки SDH и SONET стали совместимыми и могут мультиплексировать входные потоки практически любого стандарта PDH - как американского, так и европейского. В терминологии и начальной скорости технологии SDH и SONET остались расхождения, но это не мешает совместимости аппаратуре разных производителей, а технология SONET/ SDH фактически стала считаться единой технологией. В России применяются стандарты и адаптированная терминология SDH.

Иерархия скоростей при обмене данными между аппаратурой SONET/SDH, которую поддерживает технология SONET/SDH, представлена в табл. 6.3.

**Таблица 6.3.** Скорости технологии SONET/SDH

SDH	SONET	Скорость
—	STS-1, OC-1	51,840 Мбит/с
STM-1	STS-3, OC-3	155,520 Мбит/с
STM-3	STS-9, OC-9	466,560 Мбит/с
STM-4	STS-12, OC-12	622,080 Мбит/с
STM-6	STS-18, OC-18	933,120 Мбит/с
STM-8	STS-24, OC-24	1,244 Гбит/с
STM-12	STS-36, OC-36	1,866 Гбит/с
STM-16	STS-48, OC-48	2,488 Гбит/с

В стандарте SDH все уровни скоростей (и, соответственно, форматы кадров для этих уровней) имеют общее название: STM-n - Synchronous Transport Module level n. В технологии SONET существуют два обозначения для уровней скоростей: STS-n - Synchronous Transport Signal level n, употребляемое при передаче данных электрическим сигналом, и OC-n - Optical Carrier level n, употребляемое при передаче данных световым лучом по волоконно-оптическому кабелю. Форматы кадров STS и OC идентичны.

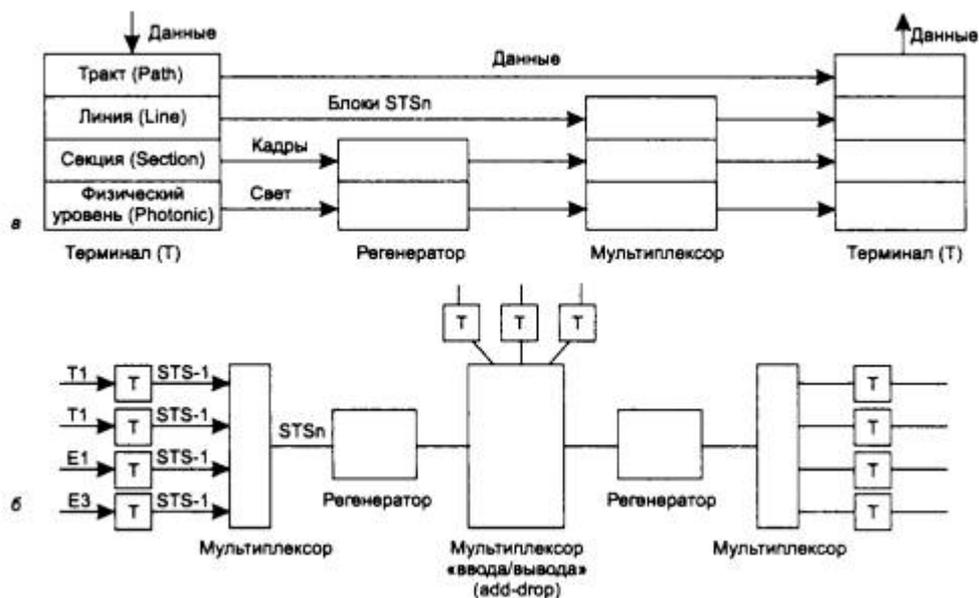
Как видно из таблицы, стандарт SONET начинается со скорости 51,84 Мбит/с, а стандарт SDH - со скорости 155,52 Мбит/с, равной утроенной начальной скорости SONET. Международный стандарт определил начальную скорость иерархии в 155,52 Мбит/с, чтобы сохранялась стройность и преемственность технологии SDH с технологией PDH - в

этом случае канал SDH может передавать данные уровня DS-4, скорость которых равна 139,264 Мбит/с. Любая скорость технологии SONET/ SDH кратна скорости STS-1. Некоторая избыточность скорости 155,52 Мбит/с для передачи данных уровня DS-4 объясняется большими накладными расходами на служебные заголовки кадров SONET/SDH.

Кадры данных технологий SONET и SDH, называемые также циклами, по форматам совпадают, естественно начиная с общего уровня STS-3/STM-1. Эти кадры обладают весьма большой избыточностью, так как передают большое количество служебной информации, которая нужна для:

- обеспечения гибкой схемы мультиплексирования потоков данных разных скоростей, позволяющих вставлять (add) и извлекать (drop) пользовательскую информацию любого уровня скорости, не демultiplexируя весь поток;
- обеспечения отказоустойчивости сети;
- поддержки операций контроля и управления на уровне протокола сети;
- синхронизации кадров в случае небольшого отклонения частот двух сопрягаемых сетей.

Стек протоколов и основные структурные элементы сети SONET/SDH показаны на рис. 6.7.



**Рис. 6.7.** Стек протоколов и структура сети SONET/SDH

Ниже перечислены устройства, которые могут входить в сеть технологии SONET/ SDH.

- *Терминальные устройства (Terminal, T)*, называемые также сервисными адаптерами (Service Adapter, SA), принимают пользовательские данные от низкоскоростных каналов технологии PDH (типа T1/E1 или T3/E3) и преобразуют их в кадры STS-n. (Далее аббревиатура STS-n используется как общее обозначение для кадров SONET/SDH.)
- *Мультиплексоры (Multiplexers)* принимают данные от терминальных устройств и мультиплексируют потоки кадров разных скоростей STS-n в кадры более высокой иерархии STS-m.

- *Мультиплексоры «ввода-вывода» (Add-Drop Multiplexers)* могут принимать и передавать транзитом поток определенной скорости STS-n, вставляя или удаляя «на ходу», без полного демultipлексирования, пользовательские данные, принимаемые с низкоскоростных входов.
- *Цифровые кросс-коннекторы (Digital Cross-Connect, DCC)*, называемые также аппаратурой оперативного переключения (АОП), предназначены для мультиплексирования и постоянной коммутации высокоскоростных потоков STS-n различного уровня между собой (на рис. 6.7 не показаны). Кросс-коннектор представляет собой разновидность мультиплексора, основное назначение которого - коммутация высокоскоростных потоков данных, возможно, разной скорости. Кросс-коннекторы образуют магистраль сети SONET/SDH.
- *Регенераторы сигналов*, используемые для восстановления мощности и формы сигналов, прошедших значительное расстояние по кабелю. На практике иногда сложно провести четкую грань между описанными устройствами, так как многие производители выпускают многофункциональные устройства, которые включают терминальные модули, модули «ввода-вывода», а также модули кросс-коннекторов.

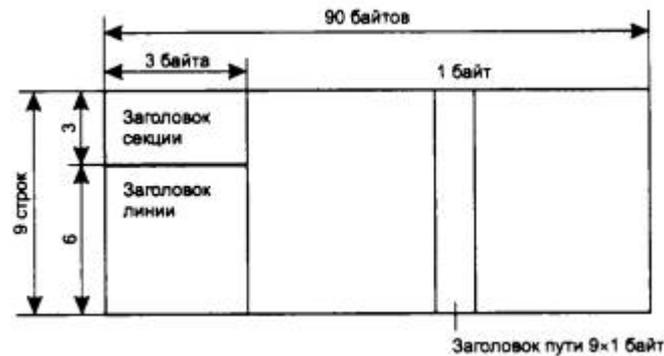
Стек протоколов состоит из протоколов 4-х уровней.

- *Физический уровень*, названный в стандарте *фотонным (photonic)*, имеет дело с кодированием бит информации с помощью модуляции света. Для кодирования сигнала применяется метод NRZ (благодаря внешней тактовой частоте его плохие самосинхронизирующие свойства недостатком не являются).
- *Уровень секции (section)* поддерживает физическую целостность сети. Секцией в технологии называется каждый непрерывный отрезок волоконно-оптического кабеля, который соединяет пару устройств SONET/SDH между собой, например мультиплексор и регенератор. Протокол секции имеет дело с кадрами и на основе служебной информации кадра может проводить тестирование секции и поддерживать операции административного контроля. В заголовке протокола секции имеются байты, образующие звуковой канал 64 Кбит/с, а также канал передачи данных управления сетью со скоростью 192 Кбит/с. Заголовок секции всегда начинается с двух байт 11110110 00101000, которые являются флагами начала кадра. Следующий байт определяет уровень кадра: STS-1, STS-2 и т. д. За каждым типом кадра закреплен определенный идентификатор.
- *Уровень линии (line)* отвечает за передачу данных между двумя мультиплексорами сети. Протокол этого уровня работает с кадрами разных уровней STS-n для выполнения различных операций мультиплексирования и демultipлексирования, а также вставки и удаления пользовательских данных. Таким образом, линией называется поток кадров одного уровня между двумя мультиплексорами. Протокол линии также ответственен за проведения операций реконфигурирования линии в случае отказа какого-либо ее элемента - оптического волокна, порта или соседнего мультиплексора.
- *Уровень тракта (path - путь)* отвечает за доставку данных между двумя конечными пользователями сети. Тракт (путь) - это составное виртуальное соединение между пользователями. Протокол тракта должен принять данные, поступающие в пользовательском формате, например формате T1, и преобразовать их в синхронные кадры STS-n/STM-m.

Как видно из рис. 6.7, регенераторы работают только с протоколами двух нижних уровней, отвечая за качество сигнала и поддержания операций тестирования и управления

сеть. Мультиплексоры работают с протоколами трех нижних уровней, выполняя, кроме функций регенерации сигнала и реконфигурации секций, функцию мультиплексирования кадров STS-n разных уровней. Кросс-коннектор представляет собой пример мультиплексора, который поддерживает протоколы трех уровней. И наконец, функции всех четырех уровней выполняют терминалы, а также мультиплексоры «ввода-вывода», то есть устройства, работающие с пользовательскими потоками данных.

Формат кадра STS-1 представлен на рис. 6.8. Кадры технологии SONET/SDH принято представлять в виде матрицы, состоящей из  $n$  строк и  $m$  столбцов. Такое представление хорошо отражает структуру кадра со своего рода подкадрами, называемыми виртуальными контейнерами (Virtual Container, VC - термин SDH) или виртуальными притоками (Virtual Tributaries, VT - термин SONET). Виртуальные контейнеры - это подкадры, которые переносят потоки данных, скорости которых ниже, чем начальная скорость технологии SONET/SDH в 51,84 Мбит/с (например, поток данных T1 со скоростью 1,544 Мбит/с).



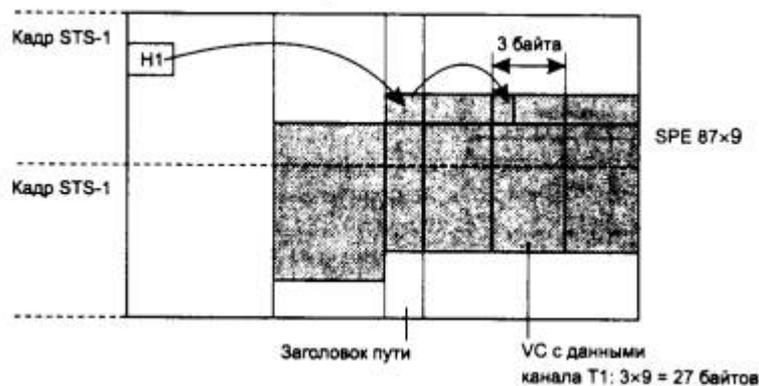
**Рис. 6.8.** Формат кадра STS-1

Кадр STS-1 состоит из 9 строк и 90 столбцов, то есть из 810 байт данных. Между устройствами сети кадр передается последовательно по байтам - сначала первая строка слева направо, затем вторая и т. д. Первые 3 байта каждой строки представляют собой служебные заголовки. Первые 3 строки представляют собой заголовок из 9 байт протокола уровня секции и содержат данные, необходимые для контроля и реконфигурации секции. Остальные 6 строк составляют заголовок протокола линии, который используется для реконфигурации, контроля и управления линией. Устройства сети SONET/SDH, которые работают с кадрами, имеют достаточный буфер для размещения в нем всех байт кадра, протекающих синхронно через устройство, поэтому устройство для анализа информации на некоторое время имеет полный доступ ко всем частям кадра. Таким образом, размещение служебной информации в несмежных байтах не представляет сложности для обработки кадра.

Еще один столбец представляет собой заголовок протокола пути. Он используется для указания местоположения виртуальных контейнеров внутри кадра, если кадр переносит низкоскоростные данные пользовательских каналов типа T1/E1. Местоположение виртуальных контейнеров задается не жестко, а с помощью системы *указателей (pointers)*.

Концепция указателей является ключевой в технологии SONET/SDH. Указатель призван обеспечить синхронную передачу байт кадров с асинхронным характером вставляемых и удаляемых пользовательских данных.

Указатели используются на разных уровнях. Рассмотрим, как с помощью указателя выполняется выделение поля данных кадра из синхронного потока байт. Несмотря на питание всех устройств сети SONET/SDH тактовой частотой синхронизации из одного центрального источника, синхронизация между различными сетями может незначительно нарушаться. Для компенсации этого эффекта началу поля данных кадра (называемого в стандарте SPE - Synchronous Payload Environment) разрешается смещаться относительно начала кадра произвольным образом. Реальное начало поля SPE задается указателем H1, размещенным в заголовке протокола линии. Каждый узел, поддерживающий протокол линии, обязан следить за частотой поступающих данных и компенсировать ее несовпадение с собственной частотой за счет вставки или удаления одного байта из служебного заголовка. Затем узел должен нарастить или уменьшить значения указателя первого байта поля данных SPE относительно начала кадра STS-1. В результате поле данных может размещаться в двух последовательных кадрах, как это показано на рис. 6.9.



**Рис. 6.9.** Использование указателей для поиска данных в кадре

Тот же прием применяется для вставки или удаления пользовательских данных в потоке кадров STS-n. Пользовательские данные каналов типа T1/E1 или T3/E3 асинхронны по отношению к потоку байтов кадра STS-n. Мультиплексор формирует виртуальный контейнер и, пользуясь указателем H1, находит начало очередного поля данных. Затем мультиплексор анализирует заголовок пути и находит в нем указатель H4, который описывает структуру содержащихся в кадре виртуальных контейнеров. Обнаружив свободный виртуальный контейнер нужного формата, например для 24 байт канала T1, он вставляет эти байты в нужное место поля данных кадра STS-1. Аналогично производится поиск начала данных этого канала при выполнении операции удаления пользовательских данных.

Таким образом, кадры STS-n всегда образуют синхронный поток байтов, но с помощью изменения значения соответствующего указателя можно вставить и извлечь из этого потока байты низкоскоростного канала, не выполняя полного демультиплексирования высокоскоростного канала.

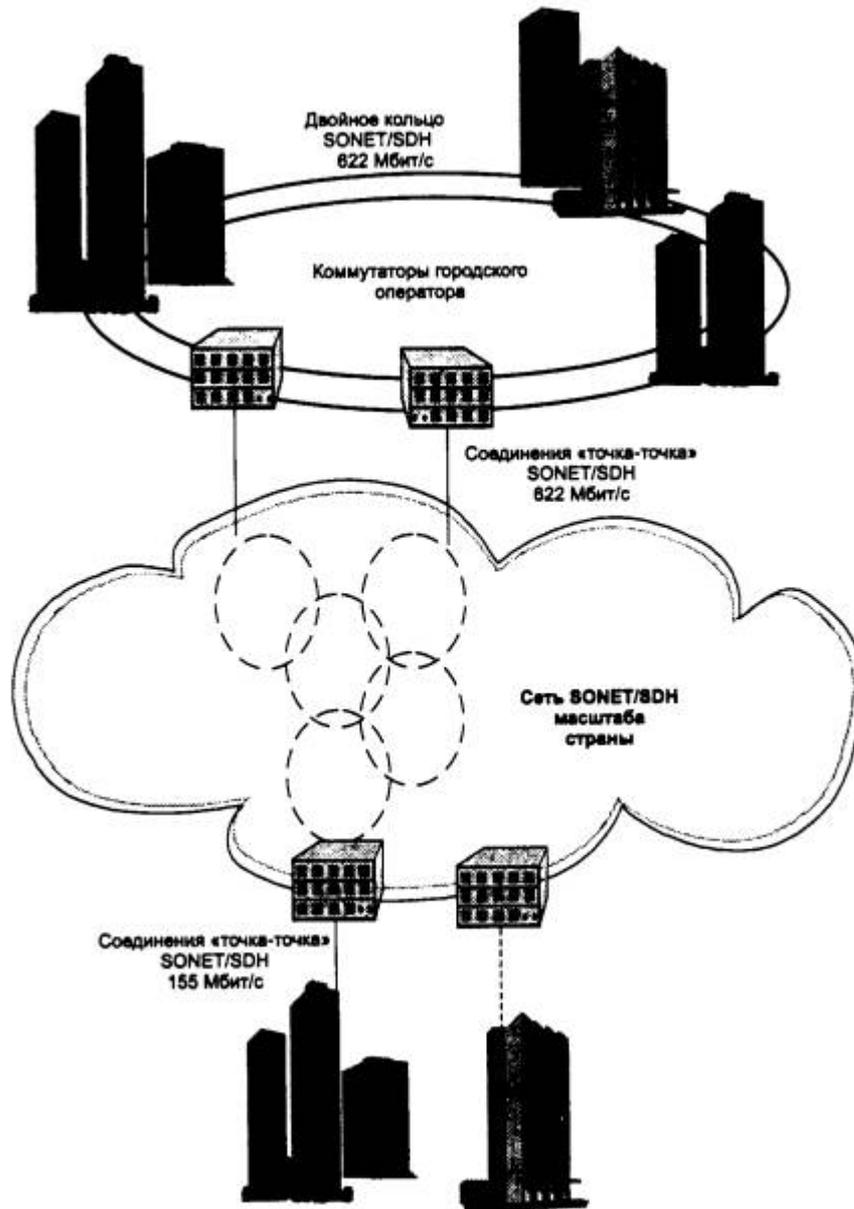
Виртуальные контейнеры также содержат дополнительную служебную информацию по отношению к данным пользовательского канала, который они переносят. Поэтому виртуальный контейнер для переноса данных канала T1 требует скорости передачи данных не 1,544 Мбит/с, а 1,728 Мбит/с.

В технологии SONET/SDH существует гибкая, но достаточно сложная схема использования поля данных кадров STS-n. Сложность этой схемы в том, что нужно

«уложить» в кадр наиболее рациональным способом мозаику из виртуальных контейнеров разного уровня. Поэтому в технологии SONET/SDH стандартизовано шесть типов виртуальных контейнеров, которые хорошо сочетаются друг с другом при образовании кадра STS-n. Существует ряд правил, по которым контейнеры каждого вида могут образовывать группы контейнеров, а также входить в состав контейнеров более высокого уровня.

*Отказоустойчивость* сети SONET/SDH встроена в ее основные протоколы. Этот механизм называется автоматическим защитным переключением - Automatic Protection Switching, APS. Существуют два способа его работы. В первом способе защита осуществляется по схеме 1:1. Для каждого рабочего волокна (и обслуживающего его порта) назначается резервное волокно. Во втором способе, называемом 1:n, для защиты n волокон назначается только одно защитное волокно.

В схеме защиты 1:1 данные передаются как по рабочему, так и по резервному волокну. При выявлении ошибок принимающий мультиплексор сообщает передающему, какое волокно должно быть рабочим. Обычно при защите 1:1 используется схема двух колец, похожая на двойные кольца FDDI (рис. 6.10), но только с одновременной передачей данных в противоположных направлениях. При обрыве кабеля между двумя мультиплексорами происходит сворачивание колец, и, как и в сетях FDDI, из двух колец образуется одно рабочее.



**Рис. 6.10.** Использование двойных колец для обеспечения отказоустойчивости сети SONET/SDH

Применение схемы резервирования 1:1 не обязательно требует кольцевого соединения мультиплексоров, можно применять эту схему и при радиальном подключении устройств, но кольцевые структуры решают проблемы отказоустойчивости эффективнее - если в сети нет колец, радиальная схема не сможет ничего сделать при обрыве кабеля между устройствами.

*Управление, конфигурирование и администрирование* сети SONET/SDH также встроено в протоколы. Служебная информация протокола позволяет централизованно и дистанционно конфигурировать пути между конечными пользователями сети, изменять режим коммутации потоков в кросс-коннекторах, а также собирать подробную статистику о работе сети. Существуют мощные системы управления сетями SDH, позволяющие прокладывать новые каналы простым перемещением мыши по графической схеме сети.

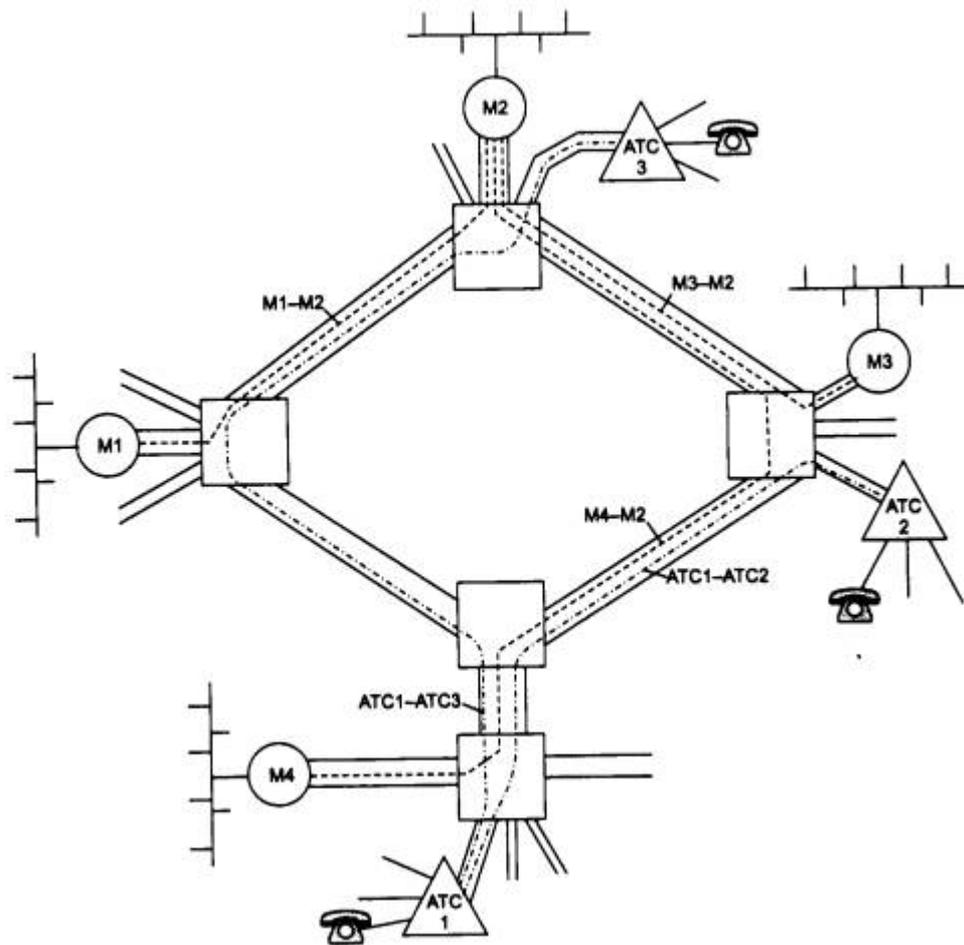
### Применение цифровых первичных сетей

Сети SDH и сети плездохронной цифровой иерархии очень широко используются для построения как публичных, так и корпоративных сетей. Особенно популярны их услуги в США, где большинство крупных корпоративных сетей построено на базе выделенных цифровых каналов. Эти каналы непосредственно соединяют маршрутизаторы, размещаемые на границе локальных сетей отделений корпорации.

При аренде выделенного канала сетевой интегратор всегда уверен, что между локальными сетями существует канал вполне определенной пропускной способности. Это положительная черта аренды выделенных каналов. Однако при относительно небольшом количестве объединяемых локальных сетей пропускная способность выделенных каналов никогда не используется на 100 %, и это недостаток монопольного владения каналом - предприятие всегда платит не за реальную пропускную способность. В связи с этим обстоятельством в последнее время все большую популярность приобретает служба сетей frame relay, в которых каналы разделяют несколько предприятий.

На основе первичной сети SDH можно строить сети с коммутацией пакетов, например frame или АТМ, или же сети с коммутацией каналов, например ISDN. Технология АТМ облегчила эту задачу, приняв стандарты SDH в качестве основных стандартов физического уровня. Поэтому при существовании инфраструктуры SDH для образования сети АТМ достаточно соединить АТМ-коммутаторы жестко сконфигурированными в сети SDH-каналами.

Телефонные коммутаторы также могут использовать технологию цифровой иерархии, поэтому построение телефонной сети с помощью каналов PDH или SONET/SDH не представляет труда. На рис. 6.11. показан пример сосуществования двух сетей - компьютерной и телефонной - на основе выделенных каналов одной и той же первичной цифровой сети.



**Рис. 6.11.** Использование цифровой первичной сети для организации двух наложенных сетей - вычислительной и телефонной

Технология SONET/SDH очень экономично решает задачу мультиплексирования и коммутации потоков различной скорости, поэтому сегодня она, несмотря на невозможность динамического перераспределения пропускной способности между абонентскими каналами, является наиболее распространенной технологией создания первичных сетей. Технология ATM, которая хотя и позволяет динамически перераспределять пропускную способность каналов, получилась значительно сложнее, и уровень накладных расходов у нее гораздо выше.

Примером российских сетей SDH могут служить сети «Макомнет», «Метро-ком» и «Раском», построенные совместными предприятиями с участием американской компании Andrew Corporation.

Начало создания сети «Макомнет» относится к 1991 году, когда было образовано совместное предприятие, учредителями которого выступили Московский метрополитен и компания Andrew Corporation.

Транспортной средой сети стали одномодовые 32-, 16- и 8-жильные волоконно-оптические кабели фирмы Pirelli, проложенные в туннелях метрополитена. В метро было уложено более 350 км кабеля. Постоянно расширяясь, сегодня кабельная система «Макомнет» с учетом соединений «последней мили» имеет длину уже более 1000 километров.

Изначально в сети «Макомнет» использовалось оборудование SDH только 1 уровня (155 Мбит/с) - мультиплексоры TN-1X фирмы Northern Telecom (Nortel), обладающие функциями коммутации 63 каналов E1 по 2 Мбит/с каждый. Из данных мультиплексоров были организованы две кольцевые топологии «Восточная» и «Западная» (они разделили кольцевую линию метрополитена на два полукольца вдоль Сокольнической линии) и несколько отрезков «точка-точка», протянувшихся к ряду клиентов, абониравших сравнительно большие емкости сети. Эти кольца образовали магистраль сети, от которой ответвлялись связи с абонентами.

Растущие день ото дня потребности заказчиков заставляли создавать новые топологии и переконфигурировать старые. В течение двух лет в сети «Макомнет» задача увеличения пропускной способности решалась за счет прокладки новых кабелей и установки нового оборудования, что позволило утроить количество топологий по кольцевой линии. Число узлов коммутации возросло до семидесяти. Но настал момент, когда остро встал вопрос о количестве резервных оптических волокон на некоторых участках сети, и с учетом прогнозов на развитие было принято решение о построении нового, 4-го уровня SDH (622 Мбит/с).

Подготовительные работы по переконфигурированию и введению действующих потоков в сеть нового уровня происходили без прекращения работы сети в целом. В качестве оборудования 4 уровня (622 Мбит/с) были установлены мультиплексоры TN-4X фирмы Nortel. Вместе с новым оборудованием была приобретена принципиально новая высокоинтеллектуальная система управления NRM (Network Resource Manager). Эта система является надстройкой над системами управления оборудования 1 и 4 уровней. Она обладает не только всеми функциями контроля оборудования, присущими каждой из систем, но и рядом дополнительных возможностей: автоматической прокладки канала по сети, когда оператору требуется лишь указать начальную и конечную точки; функциями инвентаризации каналов, обеспечивающих их быстрый поиск в системе, и рядом других.

Ввод всего шести узлов TN-4X значительно увеличил транспортную емкость сети, а высвободившиеся волокна сделали возможным ее дальнейшее наращивание.

На первых порах клиентами «Макомнет» стали телекоммуникационные компании, использующие каналы «Макомнет» для строительства собственных сетей. Однако со временем круг клиентов значительно расширился: банки, различные коммерческие и государственные структуры. Оборудование компании расположено на территории многих городских, а также основных международных и междугородных телефонных станций.

### **Устройства DSU/CSU для подключения к выделенному каналу**

Связь компьютера или маршрутизатора с цифровой выделенной линией осуществляется с помощью пары устройств, обычно выполненных в одном корпусе или же совмещенных с маршрутизатором. Этими устройствами являются: *устройство обслуживания данных (УОД)* и *устройство обслуживания канала (УОК)*. В англоязычной литературе эти устройства называются соответственно Data Service Unit (DSU) и Channel Service Unit (CSU). DSU преобразует сигналы, поступающие от DTE (обычно по интерфейсу RS-232C, RS-449 или V.35). DSU выполняет всю синхронизацию, формирует кадры каналов T1/E1, усиливает сигнал и осуществляет выравнивание загрузки канала. CSU выполняет более узкие функции, в основном это устройство занимается созданием оптимальных условий передачи в линии. Эти устройства, как и модуляторы-демодуляторы, часто обозначаются одним словом DSU/CSU (рис. 6.12).



**Рис. 6.12.** Использование DSU/CSU для подключения к цифровой выделенной линии

Нередко под устройством DSU/CSU понимают более сложные устройства, которые кроме согласования интерфейсов выполняют функции мультиплексора T1/E1. В состав такого устройства может входить модуль мультиплексирования низкоскоростных потоков голоса и данных в канал 64 Кбит/с или в несколько таких каналов (голос при этом обычно компрессируется до скорости 8-16 Кбит/с).

### **6.2.3. Протоколы канального уровня для выделенных линий**

Выделенные каналы используются для прямой связи между собой локальных сетей или отдельных компьютеров. Для маршрутизатора или моста выделенная линия предоставляет чаще всего либо канал с известной полосой пропускания, как в случае выделенных аналоговых линий, либо канал с известным протоколом физического уровня, как в случае цифровых выделенных каналов. Правда, так как аналоговый канал требует модема для передачи данных, протокол физического уровня также определен для этой линии - это протокол модема. Поэтому для передачи данных между маршрутизаторами, мостами или отдельными компьютерами с помощью выделенного канала необходимо решить, какие протоколы уровней выше физического необходимы для передачи сообщений с нужной степенью надежности и с возможностями управления потоком кадров для предотвращения переполнения соседних узлов.

Если выделенный канал соединяет сети через маршрутизаторы, то протокол сетевого уровня определен, а протокол канального уровня маршрутизатор может использовать любой, в том числе и протокол канального уровня локальной сети, например Ethernet. Мост должен передавать кадры канального протокола из одной локальной сети в другую, при этом ему тоже можно непосредственно использовать протокол локальной сети (Ethernet, Token Ring, FDDI) поверх физического уровня канала.

Однако ни мосты, ни маршрутизаторы на выделенных каналах с протоколами канального уровня локальных сетей не работают. Они, с одной стороны, избыточны, а с другой стороны, в них отсутствуют некоторые необходимые процедуры, очень полезные при объединении сетей по глобальному выделенному каналу.

Избыточность проявляется в процедурах получения доступа к разделяемой среде, а так как выделенная линия постоянно находится в распоряжении соединяющихся с ее помощью конечных узлов, процедура получения доступа к ней не имеет смысла. Среди отсутствующих процедур можно назвать процедуру управления потоком данных, процедуру взаимной аутентификации удаленных устройств, что часто необходимо для защиты сети от «подставного» маршрутизатора или моста, отводящего корпоративный трафик не по назначению. Кроме того, существует ряд параметров, которые полезно автоматически согласовывать при удаленном взаимодействии, - например, максимальный

размер поля данных (MTU), IP-адрес партнера (как для безопасности, так и для автоматического конфигурирования стека TCP/IP на удаленных одиночных компьютерах).

## Протокол SLIP

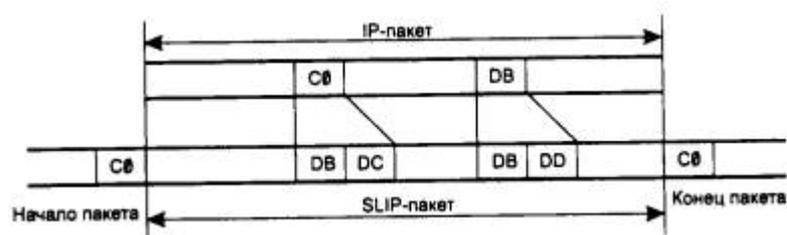
Протокол SLIP (Serial Line IP) был первым стандартом де-факто, позволяющим устройствам, соединенным последовательной линией связи, работать по протоколам TCP/IP. Он был создан в начале 80-х годов и в 1984 году встроено Риком Адамсом (Rick Adams) в операционную систему 4.2 Berkley Unix. Позднее SLIP был поддержан в других версиях Unix и реализован в программном обеспечении для ПК.

Правда, ввиду его функциональной простоты, SLIP использовался и используется в основном на коммутируемых линиях связи, которые не характерны для ответственных и скоростных сетевых соединений. Тем не менее коммутируемый канал отличается от некоммутируемого только более низким качеством и необходимостью выполнять процедуру вызова абонента, поэтому SLIP вполне применим и на выделенных каналах.

Протокол SLIP выполняет единственную функцию - он позволяет в потоке бит, которые поступают по выделенному (или коммутируемому) каналу, распознать начало и конец IP-пакета. Помимо протокола IP, другие протоколы сетевого уровня SLIP не поддерживает.

Чтобы распознать границы IP-пакетов, протокол SLIP предусматривает использование специального символа END, значение которого в шестнадцатеричном представлении равно C0. Применение специального символа может породить конфликт: если байт пересылаемых данных тождественен символу END, то он будет ошибочно определен как признак конца пакета. Чтобы предотвратить такую ситуацию, байт данных со значением, равным значению символа END, заменяется составной двухбайтовой последовательностью, состоящей из специального символа ESC (DB) и кода DC. Если же байт данных имеет тот же код, что и символ SLIP ESC, то он заменяется двухбайтовой последовательностью, состоящей из собственно символа SLIP ESC и кода DD. После последнего байта пакета передается символ END.

Механизм формирования составных последовательностей показан на рис. 6.13. Здесь приведены стандартный IP-пакет (один байт которого тождественен символу END, а другой - символу SLIP ESC) и соответствующий ему SLIP-пакет, который больше на 4 байта.



**Рис. 6.13.** Инкапсуляция IP-пакетов в SLIP-пакеты

Хотя в спецификации протокола SLIP не определена максимальная длина передаваемого пакета, реальный размер IP-пакета не должен превышать 1006 байт. Данное ограничение связано с первой реализацией протокола SLIP в соответствующем драйвере для Berkley Unix, и его соблюдение необходимо для поддержки совместимости разных реализации

SLIP (большинство современных реализации позволяют администратору самому установить размер пакета, а по умолчанию используют размер 1500 байт).

Для установления связи по протоколу SLIP компьютеры должны иметь информацию об IP-адресах друг друга. Однако возможна ситуация, когда, скажем, при осуществлении соединения между хостом и маршрутизатором последнему понадобится передать хосту информацию о его IP-адресе. В протоколе SLIP нет механизмов, дающих возможность обмениваться адресной информацией. Это ограничение не позволяет использовать SLIP для некоторых видов сетевых служб.

Другой недостаток SLIP - отсутствие индикации типа протокола, пакет которого инкапсулируется в SLIP-пакет. Поэтому через последовательную линию по протоколу SLIP можно передавать трафик лишь одного сетевого протокола - IP.

При работе с реальными телефонными линиями, зашумленными и поэтому искажающими пакеты при пересылке, требуются процедуры обнаружения и коррекции ошибок. В протоколе SLIP такие процедуры не предусмотрены. Эти функции обеспечивают вышележащие протоколы: протокол IP проводит тестирование целостности пакета по заголовку IP, а один из двух транспортных протоколов (UDP или TCP) проверяет целостность всех данных по контрольным суммам.

Низкая пропускная способность последовательных линий связи вынуждает сокращать время передачи пакетов, уменьшая объем содержащейся в них служебной информации. Эта задача решается с помощью протокола Compressed SLIP (CSLIP), поддерживающего сжатие заголовков пакетов. Появление CSLIP объясняется тем фактом, что при использовании программ типа Telnet, Riogin и других для пересылки одного байта данных требуется переслать 20-байтовый заголовок IP-пакета и 20-байтовый заголовок TCP-пакета (итого 40 байт). Спецификация CSLIP обеспечивает сжатие 40-байтового заголовка до 3-5 байт. На сегодняшний момент большинство реализации протокола SLIP поддерживают спецификацию CSLIP.

Таким образом, протокол SLIP выполняет работу по выделению из последовательности передаваемых по последовательному каналу бит границ IP-пакета. Протокол не имеет механизмов передачи адресной информации, идентификации типа протокола сетевого уровня, определения и коррекции ошибок.

## **Протоколы семейства HDLC**

Долгое время основным протоколом выделенных линий был протокол HDLC (High-level Data Link Control), имеющий статус стандарта ISO. Протокол HDLC на самом деле представляет собой семейство протоколов, в которое входят известные протоколы: LAP-B, образующий канальный уровень сетей X.25, LAP-D - канальный уровень сетей ISDN, LAP-M - канальный уровень асинхронно-синхронных модемов, LAP-F - канальный уровень сетей frame relay.

Основные принципы работы протокола HDLC: режим логического соединения, контроль искаженных и потерянных кадров с помощью метода скользящего окна, управление потоком кадров с помощью команд RNR и RR, а также различные типы кадров этого протокола были уже рассмотрены в главе 3 при изучении еще одного представителя семейства HDLC - протокола LLC2.

Однако сегодня протокол HDLC на выделенных каналах вытеснил *протокол «точка-точкам», Point-to-Point Protocol, PPP.*

Дело в том, что одна из основных функций протокола HDLC - это восстановление искаженных и утерянных кадров. Действительно, применение протокола HDLC обеспечивает снижение вероятности искажения бита (BER) с  $10^{-3}$ , что характерно для территориальных аналоговых каналов, до  $10^{-9}$ .

Однако сегодня популярны цифровые каналы, которые и без внешних процедур восстановления кадров обладают высоким качеством (величина BER составляет  $10^{-8}$ - $10^{-9}$ ). Для работы по такому каналу восстановительные функции протокола HDLC не нужны. При передаче по аналоговым выделенным каналам современные модемы сами применяют протоколы семейства HDLC (синхронные модемы - HDLC, а асинхронно-синхронные с асинхронным интерфейсом - LAP-M, который также принадлежит семейству HDLC). Поэтому использование HDLC на уровне маршрутизатора или моста становится неоправданным.

## **Протокол PPP**

Этот протокол разработан группой IETF (Internet Engineering Task Force) как часть стека TCP/IP для передачи кадров информации по последовательным глобальным каналам связи взамен устаревшего протокола SLIP (Serial Line IP). Протокол PPP стал фактическим стандартом для глобальных линий связи при соединении удаленных клиентов с серверами и для образования соединений между маршрутизаторами в корпоративной сети. При разработке протокола PPP за основу был взят формат кадров HDLC и дополнен собственными полями. Поля протокола PPP вложены в поле данных кадра HDLC. Позже были разработаны стандарты, использующие вложение кадра PPP в кадры frame relay и других протоколов глобальных сетей.

Основное отличие PPP от других протоколов канального уровня состоит в том, что он добивается согласованной работы различных устройств с помощью переговорной процедуры, во время которой передаются различные параметры, такие как качество линии, протокол аутентификации и инкапсулируемые протоколы сетевого уровня. Переговорная процедура происходит во время установления соединения.

Протокол PPP основан на четырех принципах: переговорное принятие параметров соединения, многопротокольная поддержка, расширяемость протокола, независимость от глобальных служб.

*Переговорное принятие параметров соединения.* В корпоративной сети конечные системы часто отличаются размерами буферов для временного хранения пакетов, ограничениями на размер пакета, списком поддерживаемых протоколов сетевого уровня. Физическая линия, связывающая конечные устройства, может варьироваться от низкоскоростной аналоговой линии до высокоскоростной цифровой линии с различными уровнями качества обслуживания.

Чтобы справиться со всеми возможными ситуациями, в протоколе PPP имеется набор стандартных установок, действующих по умолчанию и учитывающих все стандартные конфигурации. При установлении соединения два взаимодействующих устройства для нахождения взаимопонимания пытаются сначала использовать эти установки. Каждый конечный узел описывает свои возможности и требования. Затем на основании этой

информации принимаются параметры соединения, устраивающие обе стороны, в которые входят форматы инкапсуляции данных, размеры пакетов, качество линии и процедура аутентификации.

Протокол, в соответствии с которым принимаются параметры соединения, называется *протоколом управления связью (Link Control Protocol, LCP)*. Протокол, который позволяет конечным узлам договориться о том, какие сетевые протоколы будут передаваться в установленном соединении, называется *протоколом управления сетевым уровнем (Network Control Protocol, NCP)*. Внутри одного PPP - соединения могут передаваться потоки данных различных сетевых протоколов.

Одним из важных параметров PPP - соединения является режим аутентификации. Для целей аутентификации PPP предлагает по умолчанию протокол PAP (Password Authentication Protocol), передающий пароль по линии связи в открытом виде, или протокол CHAP (Challenge Handshake Authentication Protocol), не передающий пароль по линии связи и поэтому обеспечивающий большую безопасность сети. Пользователям также разрешается добавлять и новые алгоритмы аутентификации. Дисциплина выбора алгоритмов компрессии заголовка и данных аналогична.

*Многопротокольная поддержка* - способность протокола PPP поддерживать несколько протоколов сетевого уровня - обусловила распространение PPP как стандарта де-факто. В отличие от протокола SLIP, который может переносить только IP-пакеты, или LAP-B, который может переносить только пакеты X.25, PPP работает со многими протоколами сетевого уровня, включая IP, Novell IPX, AppleTalk, DECnet, XNS, Banyan VINES и OSI, а также протоколами канального уровня локальной сети. Каждый протокол сетевого уровня конфигурируется отдельно с помощью соответствующего протокола NCP. Под конфигурированием понимается, во-первых, констатация того факта, что данный протокол будет использоваться в текущей сессии PPP, а во-вторых, переговорное утверждение некоторых параметров протокола. Больше всего параметров устанавливается для протокола IP - IP-адрес узла, IP-адрес серверов DNS, использование компрессии заголовка IP-пакета и т. д. Протоколы конфигурирования параметров соответствующего протокола верхнего уровня называются по имени этого протокола с добавлением аббревиатуры CP (Control Protocol), например протокол IPCP, IPXCP и т. п.

*Расширяемость протокола.* Под расширяемостью понимается как возможность включения новых протоколов в стек PPP, так и возможность использования собственных протоколов пользователей вместо рекомендуемых в PPP по умолчанию. Это позволяет наилучшим образом настроить PPP для каждой конкретной ситуации.

*Независимость от глобальных служб.* Начальная версия PPP работала только с кадрами HDLC. Теперь в стек PPP добавлены спецификации, позволяющие использовать PPP в любой технологии глобальных сетей, например ISDN, frame relay, X.25, Sonet и HDLC.

Переговорная процедура протоколов LCP и NCP может и не завершиться соглашением о каком-нибудь параметре. Если, например, один узел предлагает в качестве MTU значение 1000 байт, а другой отвергает это предложение и в свою очередь предлагает значение 1500 байт, которое отвергается первым узлом, то по истечении тайм-аута переговорная процедура может закончиться безрезультатно.

Возникает вопрос - каким образом два устройства, ведущих переговоры по протоколу PPP, узнают о тех параметрах, которые они предлагают своему партнеру? Обычно у

реализации протокола PPP есть некоторый набор параметров по умолчанию, которые и используются в переговорах. Тем не менее каждое устройство (и программа, реализующая протокол PPP в операционной системе компьютера) позволяет администратору изменить параметры по умолчанию, а также задать параметры, которые не входят в стандартный набор. Например, IP-адрес для удаленного узла отсутствует в параметрах по умолчанию, но администратор может задать его для сервера удаленного доступа, после чего сервер будет предлагать его удаленному узлу.

Хотя протокол PPP и работает с кадром HDLC, но в нем отсутствуют процедуры контроля кадров и управления потоком протокола HDLC. Поэтому в PPP используется только один тип кадра HDLC - нумерованный информационный. В поле управления такого кадра всегда содержится величина 03. Для исправления очень редких ошибок, возникающих в канале, необходимы протоколы верхних уровней - TCP, SPX, NetBUEI, NCP и т. п.

Одной из возможностей протокола PPP является использование нескольких физических линий для образования одного логического канала, так называемый транкинг каналов. Эту возможность реализует дополнительный протокол, который носит название MLPPP (Multi Link PPP). Многие производители поддерживают такое свойство в своих маршрутизаторах и серверах удаленного доступа фирменным способом. Использование стандартного способа всегда лучше, так как он гарантирует совместимость оборудования разных производителей.

Общий логический канал может состоять из каналов разной физической природы. Например, один канал может быть образован в телефонной сети, а другой может являться виртуальным коммутируемым каналом сети frame relay.

#### **6.2.4. Использование выделенных линий для построения корпоративной сети**

Для связи двух локальных сетей по арендуемому или собственному выделенному каналу обычно используются мосты или маршрутизаторы. Эти устройства нужны для того, чтобы по выделенному каналу пересылались не все кадры, циркулирующие в каждой локальной сети, а только те, которые предназначены для другой локальной сети.

Схема установки моста или маршрутизатора в этом случае однотипна (рис. 6.14). Сначала необходимо решить проблему физического сопряжения выходного порта моста или маршрутизатора с аппаратурой передачи данных, то есть DCE, подключаемой непосредственно к абонентскому окончанию линии. Если канал аналоговый, то это интерфейс с модемом, а если цифровой - то с устройством DSU/CSU. Интерфейс определяется требованиями DCE - это может быть RS-232C для низкоскоростных линий или же RS-449 или V.35 для высокоскоростных каналов типа T1/E1. Для канала T3/E3 потребуется наличие интерфейса HSSI.



Рис. 6.14. Соединение сетей с помощью выделенного канала

Некоторые устройства имеют программно настраиваемые последовательные интерфейсы, которые могут работать и как RS-449/V.11, и как RS-449/V.10, и как V.35.

На рис. 6.14 выбрано в качестве примера соединение через цифровой канал E1, поэтому мост/маршрутизатор использует для подключения к каналу устройство DSU/CSU с внутренним интерфейсом RS-449 и внешним интерфейсом G.703. Часто крупные маршрутизаторы имеют модули со встроенным интерфейсом G.703, тогда необходимость в устройстве DSU/CSU отпадает. Если же выделенный канал был бы аналоговым, то в качестве DCE был бы необходим модем, поддерживающий режим работы по выделенной линии, причем кроме других различных критериев (скорость, контроль ошибок, компрессия) необходимо учитывать возможность модема работать по предоставленному абонентскому окончанию: 4-проводному или 2-проводному.

После решения проблем физического уровня удаленные мосты готовы к работе. После включения каждый мост начинает передавать все кадры из своей локальной сети в выделенный канал и одновременно (так как практически все выделенные каналы дуплексные) принимать кадры из выделенного канала. На основании проходящего трафика каждый мост строит адресную таблицу и начинает передавать в выделенный канал кадры только тем станциям, которые действительно находятся в другой сети, а также широковещательные кадры и кадры с неизвестными MAC - адресами. Современные удаленные мосты при пересылке кадров локальных сетей упаковывают их в кадры протокола PPP. Переговорная процедура, которую ведут мосты при установлении PPP-соединения, сводится в основном к выбору параметров канального уровня с помощью протокола LCP, а также к взаимной аутентификации (если такая процедура задана в параметрах протокола PPP обоих мостов).

Маршрутизатор после подключения к выделенной линии и локальной сети необходимо конфигурировать. На рис. 6.14 IP-маршрутизаторы связаны по выделенному каналу. Конфигурирование маршрутизаторов в этом случае подобно конфигурированию в локальных сетях. Каждая локальная сеть получает свой IP-адрес с соответствующей маской. Выделенный канал также является отдельной IP-сетью, поэтому можно ему также дать некоторый IP-адрес из диапазона адресов, которым распоряжается администратор корпоративной сети (в данном случае выделенному каналу присвоен адрес сети, состоящей из 2-х узлов, что определяется маской 255.255.255.252). Можно выделенному каналу и не присваивать IP-адрес - такой интерфейс маршрутизатора называется *ненумерованным (unnumbered)*. Маршрутизатор будет нормально работать в обоих случаях. Как и в локальной сети, маршрутизаторам не нужно вручную задавать

аппаратные адреса своих непосредственных соседей, так как отсылая пакеты протокола маршрутизации (RIP или OSPF) по выделенному каналу, маршрутизаторы будут их получать без проблем. Протокол ARP на выделенном канале не используется, так как аппаратные адреса на выделенном канале не имеют практического смысла (в кадре PPP есть два адреса - кадр от DCE или от DTE, но маршрутизатор всегда будет получать кадр от DCE).

Как и в локальных сетях, важной характеристикой удаленных мостов/маршрутизаторов является скорость фильтрации и скорость маршрутизации пакетов, которые часто ограничиваются не внутренними возможностями устройства, а скоростью передачи данных по линии. Для устойчивой работы сети скорость маршрутизации устройства должна быть выше, чем средняя скорость межсетевого трафика. При объединении сетей с помощью выделенного канала рекомендуется сначала выяснить характер межсетевого трафика - его среднее значение и пульсацию. Для хорошей передачи пульсаций пропускная способность канала должна быть большей или равной величине пульсаций трафика. Но такой подход приводит к очень нерациональной загрузке канала, так как при коэффициенте пульсаций 50; 1 в среднем будет использоваться только 1/50 пропускной способности канала. Поэтому чаще при выборе канала ориентируются на среднее значение межсетевого трафика. Правда, при этом пульсация будет создавать очередь кадров во внутреннем буфере моста или маршрутизатора, так как канал не может передавать данные с такой высокой скоростью, но очередь обязательно рассосется за конечное время, если среднее значение интенсивности межсетевого трафика меньше средней пропускной способности канала.

Для преодоления ограничений на скорость линии, а также для уменьшения части локального трафика, передаваемого по глобальной линии, в удаленных мостах и маршрутизаторах, работающих на глобальные каналы, используются специальные приемы, отсутствующие в локальных устройствах. Эти приемы не входят в стандарты протоколов, но они реализованы практически во всех устройствах, обслуживающих низкоскоростные каналы, особенно каналы со скоростями в диапазоне от 9600 бит/с до 64 Кбит/с.

К таким приемам относятся технологии сжатия пакетов, спуфинга и сегментации пакетов.

*Сжатие пакетов (компрессия).* Некоторые производители, используя собственные алгоритмы, обеспечивают коэффициент сжатия до 8:1. Стандартные алгоритмы сжатия, применяемые в модемах, устройствах DSU/CSU, самих мостах и маршрутизаторах, обеспечивают коэффициент сжатия до 4:1. После сжатия данных для передачи требуется существенно меньшая скорость канала.

*Спуфинг (spoofing).* Эта технология позволяет значительно повысить пропускную способность линий, объединяющих локальные сети, работающие по протоколам с большим количеством широковещательных рассылок. Во многих стеках протоколов для локальных сетей широковещательные рассылки обеспечивают решение задач поиска ресурсов сети. «Спуфинг» означает надувательство, мистификацию. Главной идеей технологии спуфинга является имитация передачи пакета по глобальной сети. Спуфинг используется не только на выделенных каналах, но и на коммутируемых, а также всегда, когда пропускная способность глобальной сети оказывается на границе некоторого минимального уровня.

Рассмотрим технику спуфинга на примере передачи между удаленными сетями пакетов SAP (Service Advertising Protocol - протокол объявления служб) серверами ОС NetWare. Эти пакеты каждый сервер генерирует каждую минуту, чтобы все клиенты сети могли составить правильное представление об имеющихся в сети разделяемых ресурсах - файловых службах, службах печати и т. п. SAP-пакеты распространяются в IPX-пакетах с широковещательным сетевым адресом (ограниченное широковещание). Маршрутизаторы не должны передавать такие пакеты из сети в сеть, но для SAP-пакетов сделано исключение - маршрутизатор, поддерживающий IPX, распространяет его на все порты, кроме того, на который этот пакет поступил (техника, подобная технике split horizon). Это делается для того, чтобы клиенты работали в одинаковых условиях независимо от сети, в которой они находятся. Удаленные мосты передают SAP-пакеты «по долгу службы», так как они имеют широковещательные MAC - адреса.

Таким образом, по выделенной линии может проходить достаточно большое количество SAP-пакетов, которое зависит от количества серверов в каждой из локальных сетей, а также количества служб, о которых объявляет каждый сервер. Если эти пакеты посылаются каким-либо сервером, но не доходят до клиентов, то клиенты не могут воспользоваться службами этого сервера.

Если маршрутизаторы или мосты, объединяющие сети, поддерживают технику спуфинга, то они передают по выделенному каналу не каждый SAP-пакет, а например, только каждый пятый. Интенсивность служебного трафика в выделенном канале при этом уменьшается. Но для того, чтобы клиенты не теряли из списка ресурсов удаленной сети серверы, маршрутизатор/мост имитирует приход этих пакетов по выделенному каналу, посылая SAP-пакеты от своего имени каждую минуту, как это и положено по протоколу. При этом маршрутизатор/мост посылает несколько раз копию реального SAP-пакета, получаемого раз в 5 минут по выделенному каналу. Такую процедуру маршрутизатор/мост осуществляет для каждого сервера удаленной сети, генерирующего SAP-пакеты.

Существует несколько различных реализации техники спуфинга: посылка оригинальных пакетов в глобальный канал происходит по времени или по количеству принятых пакетов, при изменениях в содержимом пакетов. Последний способ достаточно логичен, так как сервер обычно каждый раз повторяет содержимое своего объявления - изменения в составе служб происходят редко. Поэтому, как в алгоритмах маршрутизации типа «изменение связей» достаточно передавать только измененные пакеты, так и для подтверждения нормальной работы достаточно периодически пересылать даже неизмененный пакет (в качестве сообщения HELLO).

Существует достаточно много протоколов, которые пользуются широковещательными рассылками, и пограничный маршрутизатор/мост должен их все учитывать. Только ОС Unix весьма редко работает по этому способу, так как ее основной коммуникационный стек TCP/IP проектировался для низкоскоростных глобальных линий связи. А такие ОС, как NetWare, Windows NT, OS/2, разрабатывались в основном в расчете на локальные сети, поэтому пропускную способность каналов связи не сэкономили.

В ОС NetWare существуют три основных типа широковещательных межсетевых сообщений - кроме сообщений SAP, необходимо также передавать сообщения протокола маршрутизации RIP, который программные маршрутизаторы, работающие на серверах NetWare, поддерживают по умолчанию, а также специальные сообщения watchdogs (называемые также keep alive), которыми обмениваются сервер и клиент, установившие

логическое соединение. Сообщения watchdogs используются в том случае, когда временно в рамках данной логической сессии пользовательские данные не передаются. Чтобы поддержать соединение, клиент каждые 5 минут посылает такие сообщения серверу, говоря, что он «жив». Если сервер не получает таких сообщений в течение 15 минут, то сеанс с данным клиентом прекращается. В интерфейсе NetBIOS (а его используют в качестве программного интерфейса приложения во многих ОС) порождается служебный трафик разрешения имен - запросы NameQuery посылаются (также широкополосным способом) каждые 20 минут, если зарегистрированное ранее имя не проявило себя в течение этого периода времени.

Для реализации анализа технология спуфинга требует пакетов сетевого уровня и выше. Поэтому для мостов реализация спуфинга - не такое обычное дело, как для маршрутизаторов. Мосты, поддерживающие спуфинг, не строят таблицы маршрутизации и не продвигают пакеты на основе сетевых адресов, но разбор заголовков и содержимого пакетов верхних уровней делают. Такие интеллектуальные удаленные мосты выпускает, например, компания Gandalf, хотя недорогие маршрутизаторы постепенно вытесняют мосты и в этой области.

*Сегментация пакетов* - позволяет разделять большие передаваемые пакеты и передавать их сразу через две телефонные линии. Хотя это и не делает телефонные каналы более эффективными, но все же увеличивает скорость обмена данными почти вдвое.

## **Выводы**

- Выделенные каналы широко используются для образования глобальных связей между удаленными локальными сетями.
- Выделенные каналы делятся на аналоговые и цифровые в зависимости от аппаратуры длительной коммутации. В аналоговых каналах используются FDM-коммутаторы, а в цифровых - TDM. Ненагруженные каналы не проходят через мультиплексоры и коммутаторы и используются чаще всего как абонентские окончания для доступа к глобальным сетям.
- Аналоговые каналы делятся на несколько типов: в зависимости от полосы пропускания - на каналы тональной частоты (3100 Гц) и широкополосные каналы (48 кГц), в зависимости от типа окончания - на каналы с 4-проводным окончанием и каналы с 2-проводным окончанием.
- Для передачи компьютерных данных по аналоговым каналам используются модемы - устройства, относящиеся к типу DCE. Модемы для работы на выделенных каналах бывают следующих типов:
  - асинхронные, асинхронно-синхронные и синхронные модемы;
  - модемы для 4- и 2-проводных окончаний;
  - модемы, работающие только в полудуплексном режиме, и дуплексные модемы;
  - модемы, поддерживающие протоколы коррекции ошибок;
  - широкополосные модемы и модемы для канала тональной частоты.
- Широкополосные модемы работают только по 4-проводным окончаниям в дуплексном синхронном режиме. Многие модели модемов для тонального канала могут работать в различных режимах, совмещая, например, поддержку асинхронного и синхронного режимов работы, 4- и 2-проводные окончания. Стандарт V.34+ является наиболее гибким и скоростным стандартом для модемов тонального канала, он поддерживает как выделенные, так и коммутируемые 2-проводные окончания.

- Цифровые выделенные каналы образуются первичными сетями двух поколений технологии - PDH и SONET/SDH. Эти технологии существуют в двух вариантах - североамериканском и европейском. Последний является также международным, соответствующим рекомендациям ИТУ-Т. Два варианта технологий PDH несовместимы.
- В цифровых первичных сетях используется иерархия скоростей каналов, с помощью которой строятся магистральные каналы и каналы доступа. Технология PDH поддерживает следующие уровни иерархии каналов: абонентский канал 64 Кбит/с (DS-0), каналы T1/E1 (DS-1), каналы T2/E2 (DS-2) (редко сдаваемые в аренду) и каналы T3/E3 (DS-3). Скорость DS-4 определена в стандартах ИТУ-Т, но на практике не используется.
- Технология PDH разрабатывалась как асинхронная, поэтому кадры различных скоростей разделяются специальными битами синхронизации. В этом причина основного недостатка каналов этой технологии - для получения доступа к данным одного низкоскоростного абонентского канала необходимо произвести полное демультиплексирование высокоскоростного канала, например E3, а затем снова выполнить мультиплексирование 480 абонентских каналов в канал E3. Кроме того, технология PDH не обеспечивает автоматической реакции первичной сети на отказ канала или порта.
- Технология SONET/SDH ориентируется на использование волоконно-оптических кабелей. Эта технология также включает два варианта - североамериканский (SONET) и европейско-международный (SDH), но в данном случае они являются совместимыми.
- Технология SONET/SDH продолжает иерархию скоростей каналов PDH - до 10 Гбит/с. Технология основана на полной синхронизации между каналами и устройствами сети, которая обеспечивается наличием центрального пункта распределения синхронизирующих импульсов для всей сети.
- Каналы иерархии PDH являются входными каналами для сетей технологии SONET/SDH, которая переносит ее по своим магистральным каналам.
- Синхронная передача кадров различного уровня иерархии позволяет получить доступ к данным низкоскоростного пользовательского канала, не выполняя полного демультиплексирования высокоскоростного потока. Техника указателей позволяет определить начало пользовательских подкадров внутри синхронного кадра и считать их или добавить «на лету». Эта техника называется техникой «вставки и удаления» (add and drop) пользовательских данных.
- Сети SONET/SDH обладают встроенной отказоустойчивостью за счет избыточности своих кадров и способности мультиплексоров выполнять реконфигурирование путей следования данных. Основной отказоустойчивой конфигурацией является конфигурация двойных волоконно-оптических колец.
- Внутренние протоколы SONET/SDH обеспечивают мониторинг и управление первичной сетью, в том числе удаленное создание постоянных соединений между абонентами сети.
- Первичные сети SONET/SDH являются основой для большинства телекоммуникационных сетей: телефонных, компьютерных, телексных.
- Для передачи компьютерных данных по выделенным каналам любой природы применяется несколько протоколов канального уровня: SLIP, HDLC и PPP. Протокол PPP в наибольшей степени подходит для современных выделенных каналов, аппаратура которых самостоятельно решает задачу надежной передачи данных. Протокол PPP обеспечивает согласование многих важных параметров канального и сетевого уровня при установлении соединения между узлами.

- Для объединения локальных сетей с помощью выделенных каналов применяются такие ДТЕ, как маршрутизаторы и удаленные мосты. В канале с низкой пропускной способностью маршрутизаторы и мосты используют спуфинг, компрессию и сегментацию данных.

### **6.3. Глобальные связи на основе сетей с коммутацией каналов**

Выделенные линии представляют собой наиболее надежное средство соединения локальных сетей через глобальные каналы связи, так как вся пропускная способность такой линии всегда находится в распоряжении взаимодействующих сетей. Однако это и наиболее дорогой вид глобальных связей - при наличии  $N$  удаленных локальных сетей, которые интенсивно обмениваются данными друг с другом, нужно иметь  $N \times (N-1) / 2$  выделенных линий. Для снижения стоимости глобального транспорта применяют динамически коммутируемые каналы, стоимость которых разделяется между многими абонентами этих каналов.

Наиболее дешевыми оказываются услуги телефонных сетей, так как их коммутаторы оплачиваются большим количеством абонентов, пользующихся телефонными услугами, а не только абонентами, которые объединяют свои локальные сети.

Телефонные сети делятся на аналоговые и цифровые в зависимости от способа мультиплексирования абонентских и магистральных каналов. Более точно, цифровыми называются сети, в которых на абонентских окончаниях информация представлена в цифровом виде и в которых используются цифровые методы мультиплексирования и коммутации, а аналоговыми - сети, которые принимают данные от абонентов аналоговой формы, то есть от классических аналоговых телефонных аппаратов, а мультиплексирование и коммутацию осуществляют как аналоговыми методами, так и цифровыми. В последние годы происходил достаточно интенсивный процесс замены коммутаторов телефонных сетей на цифровые коммутаторы, которые работают на основе технологии TDM. Однако такая сеть по-прежнему останется аналоговой телефонной сетью, даже если все коммутаторы будут работать по технологии TDM, обрабатывая данные в цифровой форме, если абонентские окончания у нее останутся аналоговыми, а аналого-цифровое преобразование выполняется на ближней к абоненту АТС сети. Новая технология модемов V.90 смогла использовать факт существования большого количества сетей, в которых основная часть коммутаторов являются цифровыми.

К телефонным сетям с цифровыми абонентскими окончаниями относятся так называемые службы Switched 56 (коммутируемые каналы 56 Кбит/с) и цифровые сети с интегральными услугами ISDN (Integrated Services Digital Network). Службы Switched 56 появились в ряде западных стран в результате предоставления конечным абонентам цифрового окончания, совместимого со стандартами линий T1. Эта технология не стала международным стандартом, и сегодня она вытеснена технологией ISDN, которая такой статус имеет.

Сети ISDN рассчитаны не только на передачу голоса, но и компьютерных данных, в том числе и с помощью коммутации пакетов, за счет чего они получили название сетей с интегральными услугами. Однако основным режимом работы сетей ISDN остается режим коммутации каналов, а служба коммутации пакетов обладает слишком низкой по современным меркам скоростью - обычно до 9600 бит/с. Поэтому технология ISDN будет

рассмотрена в данном разделе, посвященном сетям с коммутацией каналов. Новое поколение сетей с интеграцией услуг, названное B-ISDN (от broadband - широкополосные), основано уже целиком на технике коммутации пакетов (точнее, ячеек технологии АТМ), поэтому эта технология будет рассмотрена в разделе, посвященном сетям с коммутацией пакетов.

Пока географическая распространенность аналоговых сетей значительно превосходит распространенность цифровых, особенно в нашей стране, но это отставание с каждым годом сокращается.

### **6.3.1. Аналоговые телефонные сети**

#### **Организация аналоговых телефонных сетей**

Наиболее популярными коммутируемыми каналами являются каналы, создаваемые обычными аналоговыми телефонными сетями. В англоязычной литературе их иногда называют POTS (Plain Old Telephone Service), - что-то вроде «старая добрая телефонная служба», хотя, конечно, название PSTN (Public Switched Telephone Network) - «публичная коммутируемая телефонная сеть» является более официальным. К сожалению, эти сети малопригодны для построения магистралей корпоративных сетей. Со средней пропускной способностью 9600 бит/с коммутируемые аналоговые линии, оснащенные модемами, подходят только для пользователя с минимальными требованиями к времени реакции системы. Максимальная на сегодня пропускная способность в 56 Кбит/с достигается только в том случае, если все коммутаторы в сети на пути следования данных являются цифровыми, да и то такая скорость обеспечивается только в направлении «сеть - пользователь».

Чаще всего такие линии используются для индивидуального удаленного доступа к сети или же как резервные линии связи небольших офисов с центральным отделением предприятия. Доступ по телефонной сети имеет англоязычное название «dial-up access». Тем не менее при недостатке средств коммутируемые аналоговые линии обеспечивают связь локальных сетей между собой. Это выгодный режим соединения, если количество передаваемых данных невелико и данные не требуют частого обновления. В этом случае две сети могут соединяться по аналоговой телефонной сети, например, раз в сутки, передавать в течение нескольких минут данные, а затем разрывать соединение. При повременной оплате телефонного соединения такой режим оказывается эффективным. Обычно к нему прибегают для передачи сводок работы предприятия за день, точнее тех частей сводок, которые имеют небольшие объемы (чаще всего - это числовые показатели, без графики).

Ниже перечислены основные характеристики аналоговых телефонных сетей.

- При вызове пользователи получают прямое соединение через коммутаторы в сети. Прямое соединение эквивалентно паре проводов с полосой пропускания от 300 до 3400 Гц. Абонентское окончание 2-проводное.
- Вызов абонента может осуществляться двумя способами: с помощью импульсного набора с частотой 10 Гц или тонового набора с частотой 10 Гц. При импульсном наборе длительность набора зависит от того, какие цифры образуют номер - например, цифра 0 передается десятью последовательными импульсами, цифра 9 - девятью и т. д. При тоновом наборе любая цифра передается подачей в сеть двух синусоидальных сигналов разной частоты в течение 50 мс (сопровождается

паузой 50 мс). Поэтому набор номера тоновым способом в среднем в 5 раз быстрее, чем импульсный (к сожалению, в нашей стране импульсный набор пока остается основным способом набора во всех городах).

- Коммутаторы сети не позволяют обеспечить промежуточное хранение данных. Поскольку запоминающие устройства в коммутаторах отсутствуют, возможен отказ в соединении при занятости абонента или при исчерпании коммутатором своих возможностей по соединению входных и выходных каналов (занятость АТС).
- Для передачи дискретных данных по аналоговым коммутируемым сетям используются модемы, поддерживающие процедуру вызова абонента.
- Пропускная способность коммутируемого аналогового канала заранее неизвестна, так как модемы устанавливают соединение на скорости, подходящей для реального качества канала. Так как качество коммутируемых каналов меняется в течение сеанса связи, то модемы изменяют скорость передачи данных динамически.

В телефонных коммутаторах аналоговых телефонных сетей могут использоваться два принципа коммутации - аналоговый, основанный на частотном разделении канала (FDM), и цифровой, основанный на разделении канала во времени (TDM).

Системы, работающие по методу частотного уплотнения, подразделяются на электромеханические и программно-управляемые электронные. Электромеханические системы (например, шаговые искатели) управляются по проводным цепям и приводятся в действие электродвигателями или шаговыми искателями. В электромеханических системах логика маршрутизации встроена в аппаратуру. В программно-управляемых коммутаторах логика коммутации реализуется программным обеспечением, а сама коммутация выполняется электронным способом.

Электромеханические коммутаторы, естественно, создают значительные помехи в коммутируемых каналах. Кроме того, дополнительные помехи создает сам способ коммутации уплотненных каналов на основе FDM. Это объясняется тем, что коммутировать уплотненные в общий канал сигналы отдельных абонентов невозможно. Перед операцией коммутации всегда нужно провести полное демультимплексирование сигналов абонентских каналов, то есть превратить сигнал высокочастотной несущей (который находится в диапазоне от 60 до 108 кГц для уплотненного канала первого уровня, состоящего из 12 абонентских каналов) в голосовой сигнал со спектром от 300 до 3400 Гц. Только затем такие каналы можно коммутировать с помощью шаговых искателей или электронных ключей. После коммутации абонентские каналы снова уплотняются в высокочастотный канал, но каждый входной канал теперь уже накладывается на несущую другой порядковой частоты, что и соответствует операции коммутации (напомним, что при TDM-коммутации в уплотненном кадре меняется порядок следования байт).

Операция демультимплексирования высокочастотной несущей, а затем повторное наложение сигналов на высокочастотные несущие создает значительные помехи (треск и свист в телефонной трубке), которые существенно снижают качество коммутируемых каналов по сравнению с выделенными аналоговыми. Понятно, что наличие электромеханических элементов только усугубляет картину, а старые АТС с шаговыми искателями еще эксплуатируются (в Москве только совсем недавно была демонтирована АТС 231, которая работала с 30-х годов и была, естественно, электромеханической).

Переход на цифровые методы коммутации существенно повышает качество коммутируемых каналов даже при том, что сигнал от абонента поступает в ближайшую

АТС в аналоговой форме, а значит, подвергается на «последней миле» воздействию помех, которые уже невозможно отфильтровать.

### **Модемы для работы на коммутируемых аналоговых линиях**

Для передачи данных по аналоговым коммутируемым телефонным каналам используются модемы, которые:

- поддерживают процедуру автовызова абонента;
- работают по 2-проводному окончанию, так как в телефонных сетях для коммутируемых каналов предусмотрено именно это окончание.

Чаще всего сегодня для коммутируемых каналов используются те же модели модемов, что и для выделенных, так как последние стандарты определяют два режима работы - по выделенным каналам и по коммутируемым. Естественно, такие комбинированные модели дороже моделей, поддерживающих только один режим работы - по коммутируемым каналам.

Для передачи данных по коммутируемым каналам ССИТТ разработал ряд основных стандартов, определяющих скорость и метод кодирования сигналов.

Стандарты первой группы являются основными и состоят из следующих спецификаций:

- V.21 - дуплексная асинхронная передача данных на скорости 300 бит/с;
- V.22 - дуплексная асинхронная/синхронная передача данных на скорости 1,2 Кбит/с;
- V.22 bis - дуплексная асинхронная/синхронная передача данных на скоростях 1,2 и 2,4 Кбит/с;
- V.26 ter - дуплексная асинхронная/синхронная передача данных на скоростях 1,2 и 2,4 Кбит/с;
- V.32 - дуплексная асинхронная/синхронная передача данных на скоростях 4,8 и 9,6 Кбит/с;
- V.32 bis - дуплексная асинхронная/синхронная передача на скорости до 14,4 Кбит/с;
- V.34 - дуплексная передача на скорости до 28,8 Кбит/с;
- V.34+ - дуплексная передача на скорости до 33,6 Кбит/с.

На практике сегодня в основном применяют модемы, поддерживающие стандарт V.34+, которые могут адаптироваться к качеству линии.

Для реализации функций автовызова современные модемы поддерживают несколько способов. При работе с модемом по асинхронному интерфейсу обычно используется система команд, предложенная компанией Hayes для своей модели Smartmodem в начале 80-х годов. Каждая команда состоит из набора обычных символов, передаваемых модему в старт-стопном режиме. Например, для указания набора номера в импульсном режиме необходимо послать модему команду ATDP. Это можно сделать даже вручную, если модем подключен к обычному алфавитно-цифровому терминалу через интерфейс RS-232C.

Для синхронных интерфейсов между модемом и DTE используются два стандарта автонабора номера: V.25 и V.25bis. Стандарт V.25 требует, чтобы, помимо основного

интерфейса для передачи данных, модем соединялся с DTE отдельным интерфейсом V.25/RS-366 на специальном 25-контактном разъеме. В стандарте V.25 bis для передачи команд автовызова предусмотрен тот же разъем, что и в основном интерфейсе, то есть RS-232C. Интерфейсы V.25 и V.25 bis могут работать не только в синхронном режиме с DTE, но и в асинхронном, но в основном характерны для синхронных интерфейсов, так как в асинхронном режиме для автовызова чаще используются Hayes-команды.

Для модемов, работающих с DTE по асинхронному интерфейсу, комитет CCITT разработал протокол коррекции ошибок V.42. До его принятия в модемах, работающих по асинхронному интерфейсу, коррекция ошибок обычно выполнялась по протоколам фирмы Microcom, еще одного лидера в области модемных технологий. Эта компания реализовала в своих модемах несколько различных процедур коррекции ошибок, назвав их протоколами MNP (Microcom Networking Protocol) классов 2-4.

В стандарте V.42 основным является другой протокол - протокол LAP-M (Link Access Protocol for Modems). Однако стандарт V.42 поддерживает и процедуры MNP 2-4, поэтому модемы, соответствующие рекомендации V.42, позволяют устанавливать свободную от ошибок связь с любым модемом, поддерживающим этот стандарт, а также с любым MNP-совместимым модемом. Протокол LAP-M принадлежит семейству HDLC и в основном работает так же, как и другие протоколы этого семейства - с установлением соединения, кадрированием данных, нумерацией кадров и восстановлением кадров с поддержкой метода скользящего окна. Основное отличие от других протоколов этого семейства - наличие кадров XID и BREAK. С помощью кадров XID (eXchange Identification) модемы при установлении соединения могут договориться о некоторых параметрах протокола, например о максимальном размере поля данных кадра, о величине тайм-аута при ожидании квитанции, о размере окна и т. п. Эта процедура напоминает переговорные процедуры протокола PPP. Команда BREAK (BRK) служит для уведомления модема-напарника о том, что поток данных временно приостанавливается. При асинхронном интерфейсе с DTE такая ситуация может возникнуть. Команда BREAK посылается в нумерованном кадре, она не влияет на нумерацию потока кадров сеанса связи. После возобновления поступления данных модем возобновляет и отправку кадров, как если бы паузы в работе не было.

Почти все современные модемы при работе по асинхронному интерфейсу поддерживают стандарты сжатия данных CCITT V.42bis и MNP-5 (обычно с коэффициентом 1:4, некоторые модели - до 1:8). Сжатие данных увеличивает пропускную способность линии связи. Передающий модем автоматически сжимает данные, а принимающий их восстанавливает. Модем, поддерживающий протокол сжатия, всегда пытается установить связь со сжатием данных, но если второй модем этот протокол не поддерживает, то и первый модем перейдет на обычную связь без сжатия.

При работе модемов по синхронному интерфейсу наиболее популярным является протокол компрессии SDC (Synchronous Data Compression) компании Motorola.

*Новый модемный стандарт V.90 является технологией, направленной на обеспечение недорогого и быстрого способа доступа пользователей к сетям поставщиков услуг. Этот стандарт обеспечивает асимметричный обмен данными: со скоростью 56 Кбит/с из сети и со скоростью 30-40 Кбит/с в сеть. Стандарт совместим со стандартом V.34+.*

Основная идея технологии асимметричных модемов состоит в следующем. В современных телефонных сетях часто единственным аналоговым звеном в соединении с

сервером удаленного доступа является телефонная пара, связывающая модем компьютера с коммутатором телефонной станции. Этот канал оптимизирован для передачи речевых сигналов: максимальная скорость передачи данных определяется из условия предельно допустимого соотношения между шумами физической линии передачи и погрешностью дискретизации звукового сигнала при его оцифровывании. Эта величина задается стандартом V.34+ и равна 33,6 Кбит/с.

Однако все выше приведенные соображения справедливы только для одного направления передачи данных - от аналогового модема к телефонной станции. Именно на этом участке выполняется аналого-цифровое преобразование, которое вносит погрешность квантования. Эта погрешность добавляется к другим помехам линии и ограничивает скорость передачи 33,6 Кбит/с. Обратное же цифро-аналоговое преобразование не вносит дополнительного шума, что делает возможным увеличение скорости передачи от телефонной станции к модему пользователя до 56 Кбит/с.

Достоинством новой технологии является то, что для ее внедрения не требуется вносить какие-либо изменения в оборудование телефонной станции - нужно лишь изменить программу в цифровых модемах, установленных в стойках у поставщика услуг, а также загрузить в пользовательский модем новую программу либо заменить микросхему памяти в зависимости от модели и производителя.

Технологии асимметричных модемов рассчитаны на то, что сервер удаленного доступа поставщика услуг корпоративной или публичной сети с коммутацией пакетов подключен к какой-либо АТС телефонной сети по цифровому интерфейсу, например BRI ISDN, или же по выделенному каналу T1/E1. Так что цифровой поток данных, идущий от сервера, постоянно пересылается сетью в цифровой форме и только на абонентском окончании преобразуется в аналоговую форму. Если же сервер удаленного доступа подключен к телефонной сети по обычному аналоговому окончанию, то даже наличие модема V.90 у сервера не спасет положение - данные будут подвергаться аналого-цифровому преобразованию, и их максимальная скорость не сможет превысить 33,6 Кбит/с. При подключении же модемов V.90 к телефонной сети с обеих сторон обычным способом, то есть через аналоговые окончания, они работают как модемы V.34+. Такая же картина будет наблюдаться в случае, если в телефонной сети на пути трафика встретится аналоговый коммутатор.

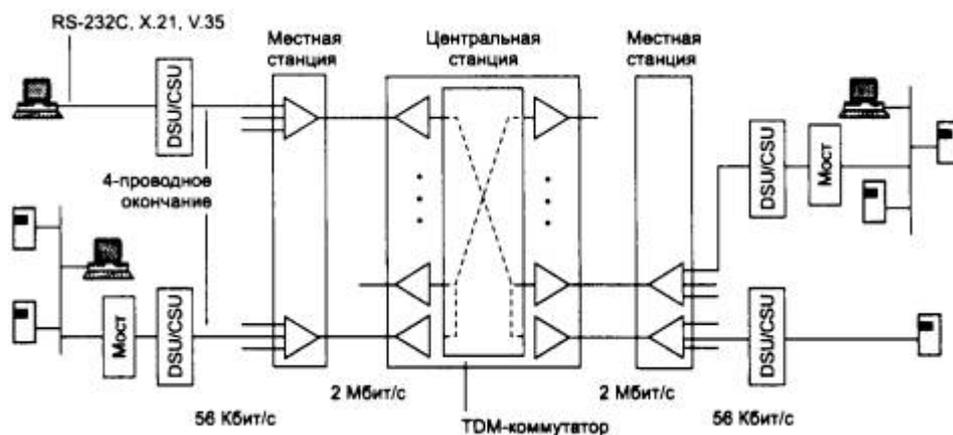
### **6.3.2. Служба коммутируемых цифровых каналов Switched 56**

Если все коммутаторы телефонной сети работают по технологии цифровой коммутации TDM, то кажется, что перевод абонентского окончания на передачу данных в цифровой форме - не такая уж сложная вещь. И, имея сеть цифровых телефонных коммутаторов, нетрудно сделать ее полностью цифровой. Однако это не так. Передача данных со скоростью 64 Кбит/с в дуплексном режиме требует либо прокладки между жилыми домами и АТС новых кабелей, либо специальных усилителей-регенераторов на обоих концах абонентского окончания, то есть в том числе и в квартирах. Оба способа связаны с большими затратами труда и материальных средств, так как аналоговые телефонные сети вполне довольствуются тем медным проводом, который в больших количествах уже проложен между АТС и домами того района города, который данная АТС обслуживает и который заканчивается пассивной телефонной розеткой, а не усилителем-регенератором.

Поэтому массовый переход на полностью цифровые телефонные сети связан с большими капиталовложениями и требует значительного времени для его осуществления, что и показала жизнь.

Однако для некоторых особо требовательных абонентов, которые согласны заплатить за повышения качества и скорости коммутируемых каналов, телефонные компании уже достаточно давно предлагают цифровые коммутируемые службы. Обычно такими абонентами являются корпоративные абоненты, которым нужен быстрый и качественный доступ к корпоративной информации.

Одной из первых служб такого рода стала служба Switched 56, предлагаемая различными телекоммуникационными компаниями в США, Англии и некоторых других странах. Технология этой службы (которая в разных странах имеет разное название, например, в Англии - Kilostream) основана на 4-проводном окончании каналов T1. Абонент для подключения к сети должен установить у себя соответствующее оборудование, представляющее собой DSU/CSU со встроенным блоком автовызова. Использование 8-го бита для передачи номера вызываемого абонента, а также для других служебных целей ограничивает скорость передачи данных до 56 Кбит/с. Типичная схема функционирования службы Switched 56 показана на рис. 6.15.



**Рис. 6.15.** Функционирование службы Switched 56

Абонентами обычно являются компьютеры или локальные сети, подключаемые к сети с помощью маршрутизатора или удаленного моста. Местные станции соединяются с некоторой центральной станцией, которая коммутирует цифровые потоки T1/E1. Сеть является полностью цифровой и поддерживает различные скорости передачи данных - от 2400 бит/с до 56 Кбит/с. Абоненты службы Switched 56 подключаются также к общей публичной телефонной сети, однако соединения со скоростью 56 Кбит/с возможны только в том случае, когда оба абонента пользуются этой службой.

Стандарты службы Switched 56 разные в разных компаниях и разных странах. Сегодня этот вид службы вытесняется сетями ISDN, стандарты которых являются международными, хотя в этой области также имеются проблемы совместимости сетей разных стран.

### **6.3.3. ISDN - сети с интегральными услугами**

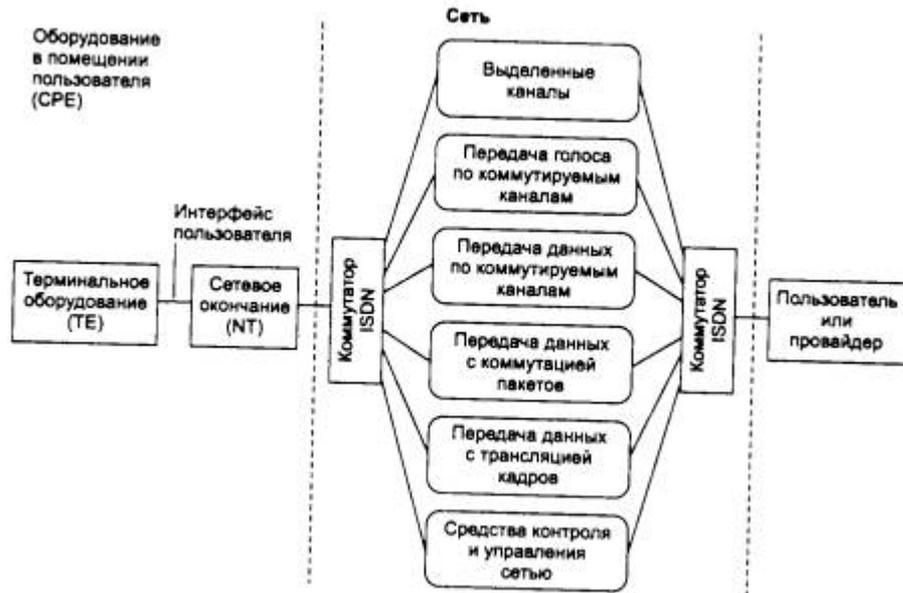
#### **Цели и история создания технологии ISDN**

*ISDN (Integrated Services Digital Network - цифровые сети с интегральными услугами)* относятся к сетям, в которых основным режимом коммутации является режим коммутации каналов, а данные обрабатываются в цифровой форме. Идеи перехода телефонных сетей общего пользования на полностью цифровую обработку данных, при которой конечный абонент передает данные непосредственно в цифровой форме, высказывались давно. Сначала предполагалось, что абоненты этой сети будут передавать только голосовые сообщения. Такие сети получили название IDN - Integrated Digital Network. Термин «интегрированная сеть» относился к интеграции цифровой обработки информации сетью с цифровой передачей голоса абонентом. Идея такой сети была высказана еще в 1959 году. Затем было решено, что такая сеть должна предоставлять своим абонентам не только возможность поговорить между собой, но и воспользоваться другими услугами - в первую очередь передачей компьютерных данных. Кроме того, сеть должна была поддерживать для абонентов разнообразные услуги прикладного уровня - факсимильную связь, телетекс (передачу данных между двумя терминалами), видеотекс (получение хранящихся в сети данных на свой терминал), голосовую почту и ряд других. Предпосылки для создания такого рода сетей сложились к середине 70-х годов. К этому времени уже широко применялись цифровые каналы T1 для передачи данных в цифровой форме между АТС, а первый мощный цифровой коммутатор телефонных каналов 4ESS был выпущен компанией Western Electric в 1976 году.

В результате работ, проводимых по стандартизации интегральных сетей в ССИТТ, в 1980 году появился стандарт G.705, в котором излагались общие идеи такой сети. Конкретные спецификации сети ISDN появились в 1984 году в виде серии рекомендаций I. Этот набор спецификаций был неполным и не подходил для построения законченной сети. К тому же в некоторых случаях он допускал неоднозначность толкования или был противоречивым. В результате, хотя оборудование ISDN и начало появляться примерно с середины 80-х годов, оно часто было несовместимым, особенно если производилось в разных странах. В 1988 году рекомендации серии I были пересмотрены и приобрели гораздо более детальный и законченный вид, хотя некоторые неоднозначности сохранились. В 1992 и 1993 годах стандарты ISDN были еще раз пересмотрены и дополнены. Процесс стандартизации этой технологии продолжается.

Внедрение сетей ISDN началось достаточно давно - с конца 80-х годов, однако высокая техническая сложность пользовательского интерфейса, отсутствие единых стандартов на многие жизненно важные функции, а также необходимость крупных капиталовложений для переоборудования телефонных АТС и каналов связи привели к тому, что инкубационный период затянулся на многие годы, и сейчас, когда прошло уже более десяти лет, распространенность сетей ISDN оставляет желать лучшего. Кроме того, в разных странах судьба ISDN складывалась по-разному. Наиболее давно в национальном масштабе эти сети работают в таких странах, как Германия и Франция. Тем не менее доля абонентов ISDN даже в этих странах составляет немногим более 5 % от общего числа абонентов телефонной сети. В США процесс внедрения сетей ISDN намного отстал от Европы, поэтому сетевая индустрия только недавно заметила наличие такого рода сетей. Если судить о тех или иных типах глобальных сетей по коммуникационному оборудованию для корпоративных сетей, то может сложиться ложное впечатление, что технология ISDN появилась где-то в 1994 - 1995 годах, так как именно в эти годы начали появляться маршрутизаторы с поддержкой интерфейса ISDN. Это обстоятельство просто отражает тот факт, что именно в эти годы сеть ISDN стала достаточно распространенной в США - стране, компании которой являются лидерами в производстве сетевого оборудования для корпоративных сетей.

Архитектура сети ISDN предусматривает несколько видов служб (рис. 6.16):



**Рис. 6.16.** Службы ISDN

- некоммутируемые средства (выделенные цифровые каналы);
- коммутируемая телефонная сеть общего пользования;
- сеть передачи данных с коммутацией каналов;
- сеть передачи данных с коммутацией пакетов;
- сеть передачи данных с трансляцией кадров (frame relay);
- средства контроля и управления работой сети.

Как видно из приведенного списка, транспортные службы сетей ISDN действительно покрывают очень широкий спектр услуг, включая популярные услуги frame relay. Кроме того, большое внимание уделено средствам контроля сети, которые позволяют маршрутизировать вызовы для установления соединения с абонентом сети, а также осуществлять мониторинг и управление сетью. Управляемость сети обеспечивается интеллектуальностью коммутаторов и конечных узлов сети, поддерживающих стек протоколов, в том числе и специальных протоколов управления.

Стандарты ISDN описывают также ряд услуг прикладного уровня: факсимильную связь на скорости 64 Кбит/с, телексную связь на скорости 9600 бит/с, видеотекс на скорости 9600 бит/с и некоторые другие.

На практике не все сети ISDN поддерживают все стандартные службы. Служба frame relay хотя и была разработана в рамках сети ISDN, однако реализуется, как правило, с помощью отдельной сети коммутаторов кадров, не пересекающейся с сетью коммутаторов ISDN.

Базовой скоростью сети ISDN является скорость канала DS-0, то есть 64 Кбит/с. Эта скорость ориентируется на самый простой метод кодирования голоса - ИКМ, хотя дифференциальное кодирование и позволяет передавать голос с тем же качеством на скорости 32 или 16 Кбит/с.

### **Пользовательские интерфейсы ISDN**

Одним из базовых принципов ISDN является предоставление пользователю стандартного интерфейса, с помощью которого пользователь может запрашивать у сети разнообразные услуги. Этот интерфейс образуется между двумя типами оборудования, устанавливаемого в помещении пользователя (Customer Premises Equipment, CPE): терминальным оборудованием пользователя ТЕ (компьютер с соответствующим адаптером, маршрутизатор, телефонный аппарат) и сетевым окончанием NT, которое представляет собой устройство, завершающее канал связи с ближайшим коммутатором ISDN.

Пользовательский интерфейс основан на каналах трех типов:

- В-со скоростью передачи данных 64 Кбит/с;
- D - со скоростью передачи данных 16 или 64 Кбит/с;
- Н - со скоростью передачи данных 384 Кбит/с (НО), 1536 Кбит/с (НИ) или 1920 Кбит/с (Н12).

Каналы типа В обеспечивают передачу пользовательских данных (оцифрованного голоса, компьютерных данных или смеси голоса и данных) и с более низкими скоростями, чем 64 Кбит/с. Разделение данных выполняется с помощью техники TDM. Разделением канала В на подканалы в этом случае должно заниматься пользовательское оборудование, сеть ISDN всегда коммутирует целые каналы типа В. Каналы типа В могут соединять пользователей с помощью техники коммутации каналов друг с другом, а также образовывать так называемые полупостоянные (semipermanent) соединения, которые эквивалентны соединениям службы выделенных каналов. Канал типа В может также подключать пользователя к коммутатору сети X.25.

Канал типа D выполняет две основные функции. Первой и основной является передача адресной информации, на основе которой осуществляется коммутация каналов типа В в коммутаторах сети. Второй функцией является поддержание услуг низкоскоростной сети с коммутацией пакетов для пользовательских данных. Обычно эта услуга выполняется сетью в то время, когда каналы типа D свободны от выполнения основной функции.

Каналы типа Н предоставляют пользователям возможности высокоскоростной передачи данных. На них могут работать службы высокоскоростной передачи факсов, видеоинформации, качественного воспроизведения звука.

Пользовательский интерфейс ISDN представляет собой набор каналов определенного типа и с определенными скоростями.

Сеть ISDN поддерживает два типа пользовательского интерфейса - начальный (Basic Rate Interface, BRI) и основной (Primary Rate Interface, PRI).

*Начальный интерфейс BRI* предоставляет пользователю два канала по 64 Кбит/с для передачи данных (каналы типа В) и один канал с пропускной способностью 16 Кбит/с для передачи управляющей информации (канал типа D). Все каналы работают в полнодуплексном режиме. В результате суммарная скорость интерфейса BRI для пользовательских данных составляет 144 Кбит/с по каждому направлению, а с учетом служебной информации - 192 Кбит/с. Различные каналы пользовательского интерфейса разделяют один и тот же физический двухпроводный кабель по технологии TDM, то есть являются логическими каналами, а не физическими. Данные по интерфейсу BRI передаются кадрами, состоящими из 48 бит. Каждый кадр содержит по 2 байта каждого из В каналов, а также 4 бита канала D. Передача кадра длится 250 мс, что обеспечивает

скорость данных 64 Кбит/с для каналов В и 16 Кбит/с для канала D. Кроме бит данных кадр содержит служебные биты для обеспечения синхронизации кадров, а также обеспечения нулевой постоянной составляющей электрического сигнала.

Интерфейс BRI может поддерживать не только схему 2B+D, но и B+D и просто D (когда пользователь направляет в сеть только пакетизированные данные).

Начальный интерфейс стандартизован в рекомендации 1.430.

*Основной интерфейс PRI предназначен для пользователей с повышенными требованиями к пропускной способности сети. Интерфейс PRI поддерживает либо схему 30B+D, либо схему 23B+D. В обеих схемах канал D обеспечивает скорость 64 Кбит/с. Первый вариант предназначен для Европы, второй - для Северной Америки и Японии. Ввиду большой популярности скорости цифровых каналов 2,048 Мбит/с в Европе и скорости 1,544 Мбит/с в остальных регионах, привести стандарт на интерфейс PRI к общему варианту не удалось.*

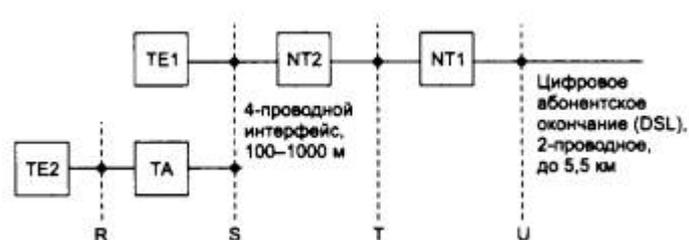
Возможны варианты интерфейса PRI с меньшим количеством каналов типа В, например 20B+D. Каналы типа В могут объединяться в один логический высокоскоростной канал с общей скоростью до 1920 Кбит/с. При установке у пользователя нескольких интерфейсов PRI все они могут иметь один канал типа D, при этом количество В каналов в том интерфейсе, который не имеет канала D, может увеличиваться до 24 или 31.

Основной интерфейс может быть основан на каналах типа Н. При этом общая пропускная способность интерфейса все равно не должна превышать 2,048 или 1,544 Мбит/с. Для каналов НО возможны интерфейсы 3НО+D для американского варианта и 5НО+D для европейского. Для каналов НИ возможен интерфейс, состоящий только из одного канала НИ (1,536 Мбит/с) для американского варианта или одного канала НИ 2 (1,920 Мбит/с) и одного канала D для европейского варианта.

Кадры интерфейса PRI имеют структуру кадров DS-1 для каналов T1 или E1. Основной интерфейс PRI стандартизован в рекомендации 1.431.

### **Подключение пользовательского оборудования к сети ISDN**

Подключение пользовательского оборудования к сети ISDN осуществляется в соответствии со схемой подключения, разработанной ССИТТ (рис. 6.17). Оборудование делится на функциональные группы, и в зависимости от группы различается несколько справочных точек (reference points) соединения разных групп оборудования между собой.



**Рис. 6.17.** Подключение пользовательского оборудования ISDN

*Устройства функциональной группы NT1 (Network Termination 1) образуют цифровое абонентское окончание (Digital Subscriber Line, DSL) на кабеле, соединяющем*

пользовательское оборудование с сетью ISDN. Фактически NT1 представляет собой устройство типа CSU, которое работает на физическом уровне и образует дуплексный канал с соответствующим устройством CSU, установленном на территории оператора сети ISDN. Справочная точка U соответствует точке подключения устройства NT1 к сети. Устройство NT1 может принадлежать оператору сети (хотя всегда устанавливается в помещении пользователя), а может принадлежать и пользователю. В Европе принято считать устройство NT1 частью оборудования сети, поэтому пользовательское оборудование (например, маршрутизатор с интерфейсом ISDN) выпускается без встроенного устройства NT1. В Северной Америке принято считать устройство NT1 принадлежностью пользовательского оборудования, поэтому для этого применения оборудование часто выпускается со встроенным устройством NT1.

Если пользователь подключен через интерфейс BRI, то цифровое абонентское окончание выполнено по 2-проводной схеме (как и обычное окончание аналоговой телефонной сети). Для организации дуплексного режима используется технология одновременной выдачи передатчиками потенциального кода 2B1Q с эхо - подавлением и вычитанием своего сигнала из суммарного. Максимальная длина абонентского окончания в этом случае составляет 5,5 км.

При использовании интерфейса PRI цифровое абонентское окончание выполняется по схеме канала T1 или E1, то есть является 4-проводным с максимальной длиной около 1800 м.

*Устройства функциональной группы NT2 (Network Termination 2)* представляют собой устройства канального или сетевого уровня, которые выполняют функции концентрации пользовательских интерфейсов и их мультиплексирование. Например, к этому типу оборудования относятся: офисная АТС (PBX), коммутирующая несколько интерфейсов BRI, маршрутизатор, работающий в режиме коммутации пакетов (например, по каналу D), простой мультиплексор TDM, который мультиплексирует несколько низкоскоростных каналов в один канал типа В. Точка подключения оборудования типа NT2 к устройству NT1 называется справочной точкой типа Т. Наличие этого типа оборудования не является обязательным в отличие от NT1.

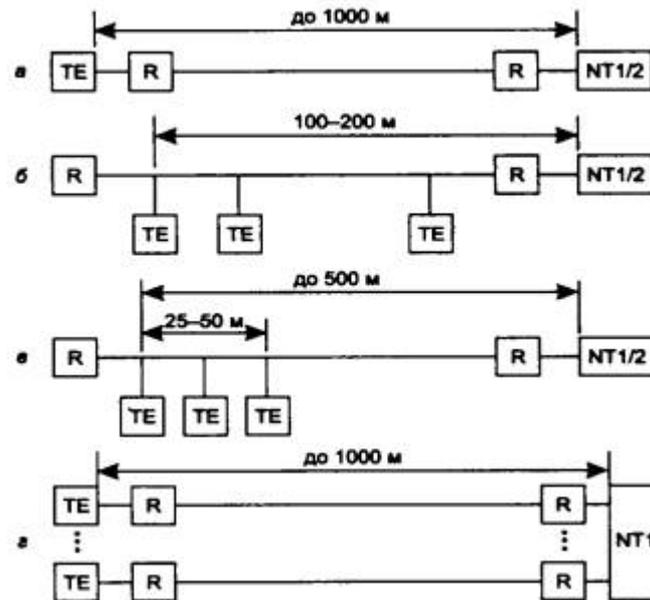
*Устройства функциональной группы TE1 (Terminal Equipment 1)* относятся к устройствам, которые поддерживают интерфейс пользователя BRI или PRI. Справочная точка S соответствует точке подключения отдельного терминального оборудования, поддерживающего один из интерфейсов пользователя ISDN. Таким оборудованием может быть цифровой телефон или факс-аппарат. Так как оборудование типа NT2 может отсутствовать, то справочные точки S и Т объединяются и обозначаются как S/Т.

*Устройства функциональной группы TE2 (Terminal Equipment 2)* представляют собой устройства, которые не поддерживают интерфейс BRI или PRI. Таким устройством может быть компьютер, маршрутизатор с последовательными интерфейсами, не относящимися к ISDN, например RS-232C, X.21 или V.35. Для подключения такого устройства к сети ISDN необходимо использовать *терминальный адаптер (Terminal Adaptor, TA)*. Для компьютеров терминальные адаптеры выпускаются в формате сетевых адаптеров - как встраиваемая карта.

Физически интерфейс в точке S/Т представляет собой 4-проводную линию. Так как кабель между устройствами TE1 или ТА и сетевым окончанием NT1 или NT2 обычно имеет небольшую длину, то разработчики стандартов ISDN решили не усложнять оборудование,

так как организация дуплексного режима на 4-проводной линии намного легче, чем на 2-проводной. Для интерфейса BRI в качестве метода кодирования выбран биполярный АМІ, причем логическая единица кодируется нулевым потенциалом, а логический ноль - чередованием потенциалов противоположной полярности. Для интерфейса PRI используются другие коды, те же, что и для интерфейсов T1 и E1, то есть соответственно V8ZS и HDB3.

Физическая длина интерфейса PRI колеблется от 100 до 1000 м в зависимости от схемы подключения устройств (рис. 6.18).



**Рис. 6.18.** Многоточечное подключение терминалов к сетевому окончанию

Дело в том, что при небольшом количестве терминалов (TE1 или TE2+TA) разрешается не использовать местную офисную АТС, а подключать до 8 устройств к одному устройству типа NT1 (или NT2 без коммутационных возможностей) с помощью схемы монтажного ИЛИ (подключение напоминает подключение станций к коаксиальному кабелю Ethernet, но только в 4-проводном варианте). При подключении одного устройства TE (через терминальные резисторы R, согласующие параметры линии) к сетевому окончанию NT (см. рис. 6.18, а) длина кабеля может достигать 1000 м. При подключении нескольких устройств к пассивному кабелю (см. рис. 6.18, б) максимальная длина кабеля сокращается до 100-200 м. Правда, если эти устройства сосредоточены на дальнем конце кабеля (расстояние между ними не превышает 25-50 м), то длина кабеля может быть увеличена до 500 м (см. рис. 6.18, в). И наконец, существуют специальные многопортовые устройства NT1, которые обеспечивают звездообразное подключение до 8 устройств, при этом длина кабеля увеличивается до 1000 м (см. рис. 6.18, г).

### Адресация в сетях ISDN

Технология ISDN разрабатывалась как основа всемирной телекоммуникационной сети, позволяющей связывать как телефонных абонентов, так и абонентов других глобальных сетей - компьютерных, телексных. Поэтому при разработке схемы адресации узлов ISDN необходимо было, во-первых, сделать эту схему достаточно емкой для всемирной адресации, а во-вторых, совместимой со схемами адресации других сетей, чтобы абоненты

этих сетей, в случае соединения своих сетей через сеть ISDN, могли бы пользоваться привычными форматами адресов. Разработчики стека TCP/IP пошли по пути введения собственной системы адресации, независимой от систем адресации объединяемых сетей. Разработчики технологии ISDN пошли по другому пути - они решили добиться использования в адресе ISDN адресов объединяемых сетей.

Основное назначение ISDN - это передача телефонного трафика. Поэтому за основу адреса ISDN был взят формат международного телефонного плана номеров, описанный в стандарте ITU-T E.163. Однако этот формат был расширен для поддержки большего числа абонентов и для использования в нем адресов других сетей, например X.25. Стандарт адресации в сетях ISDN получил номер E.164.

Формат E.163 предусматривает до 12 десятичных цифр в номере, а формат адреса ISDN в стандарте E.164 расширен до 55 десятичных цифр. В сетях ISDN различают *номер абонента* и *адрес абонента*. Номер абонента соответствует точке Т подключения всего пользовательского оборудования к сети. Например, вся офисная АТС может идентифицироваться одним номером ISDN. Номер ISDN состоит из 15 десятичных цифр и делится, как и телефонный номер по стандарту E.163, на поле «Код страны» (от 1 до 3 цифр), поле «Код города» и поле «Номер абонента». Адрес ISDN включает номер плюс до 40 цифр подадреса. Подадрес используется для нумерации терминальных устройств за пользовательским интерфейсом, то есть подключенных к точке S. Например, если на предприятии имеется офисная АТС, то ей можно присвоит один номер, например 7-095-640-20-00, а для вызова абонента, имеющего подадрес 134, внешний абонент должен набрать номер 7-095-640-20-00-134.

При вызове абонентов из сети, не относящейся к ISDN, их адрес может непосредственно заменять адрес ISDN. Например, адрес абонента сети X.25, в которой используется система адресации по стандарту X.I 21, может быть помещен целиком в поле адреса ISDN, но для указания, что это адрес стандарта X.121, ему должно предшествовать поле префикса, в которое помещается код стандарта адресации, в данном случае стандарта X.121. Коммутаторы сети ISDN могут обработать этот адрес корректно и установить связь с нужным абонентом сети X.25 через сеть ISDN - либо коммутируя канал типа В с коммутатором X.25, либо передавая данные по каналу типа D в режиме коммутации пакетов. Префикс описывается стандартом ISO 7498.

Стандарт ISO 7498 определяет достаточно сложный формат адреса, причем основой схемы адресации являются первые два поля. Поле AFI (Authority and Formay Identifier) задает значения всех остальных полей адреса и формат этих полей. Значением поля AFI является один из 6 типов поддоменов глобального домена адресации:

- четыре типа доменов соответствуют четырем типам публичных телекоммуникационных сетей - сетей с коммутацией пакетов, телексных сетей, публичных телефонных сетей и сетей ISDN;
- пятый тип домена - это географический домен, который назначается каждой стране (в одной стране может быть несколько географических доменов);
- шестой тип домена - это домен организационного типа, в который входят международные организации, например ООН или ATM Forum. За полем AFI идет поле *IDI (Initial Domail Identifier)* - поле начального идентификатора домена, а за ним располагается дополнительное поле *DSP (Domain Specific Part)*, которое может нести дополнительные цифры номера абонента, если разрядности поля INI не хватает.

Определены следующие значения AFI:

- Международные сети с коммутацией пакетов со структурой адресов в стандарте X.I 21-36, если адрес задается только десятичными цифрами, и 37, если адрес состоит из произвольных двоичных значений. При этом поле INI имеет формат в 14 десятичных цифр, а поле DSP может содержать еще 24 цифры.
- Международные сети ISDN со структурой адресов в стандарте E.164 - 44, если адрес задается только десятичными цифрами, и 45, если адрес состоит из произвольных двоичных значений. При этом поле IDI имеет формат в 15 десятичных цифр, а поле DSP может содержать еще 40 цифр.
- Международные телефонные сети PSTN со структурой адресов в стандарте E.I 63 - 42, если адрес задается только десятичными цифрами, и 43, если адрес состоит из произвольных двоичных значений. При этом поле IDI имеет формат в 12 десятичных цифр, а поле DSP может содержать еще 26 цифр.
- Международные географические домены со структурой адресов в стандарте ISO DCC (Digital Country Codes) - 38, если адрес задается только десятичными цифрами, и 39, если адрес состоит из произвольных двоичных значений. При этом поле INI имеет формат в 3 десятичных цифры (код страны), а поле DSP может содержать еще 35 цифр.
- Домен международных организаций. Для него однобайтовое поле IDI содержит код международной организации, от которой зависит формат поля DSP. Для первых четырех доменов адрес абонента помещается непосредственно в поле IDI. Для пятого и шестого типов доменов IDI содержит только код страны или код организации, которая контролирует структуру и нумерацию части DSP.

Еще одним способом вызова абонентов из других сетей является указание в адресе ISDN двух адресов: адреса ISDN пограничного устройства, например, соединяющего сеть ISDN с сетью X.25, и адреса узла в сети X.25. Адреса должны разделяться специальным разделителем. Два адреса используются за два этапа - сначала сеть ISDN устанавливает соединение типа коммутируемого канала с пограничным устройством, присоединенным к сети ISDN, а затем передает ему вторую часть адреса, чтобы это устройство осуществило соединение с требуемым абонентом.

### **Стек протоколов и структура сети ISDN**

В сети ISDN (рис. 6.19) существуют два стека протоколов: стек каналов типа D и стек каналов типа B.

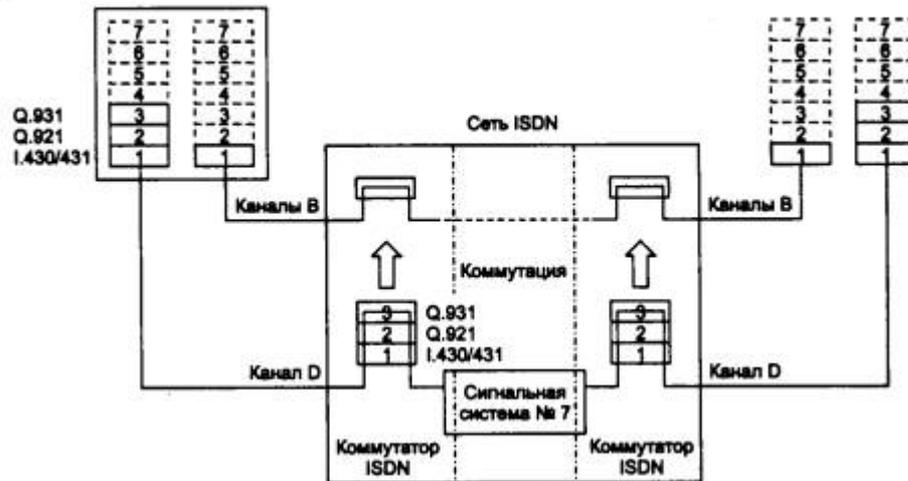


Рис. 6.19. Структура сети ISDN

Каналы типа D образуют достаточно традиционную сеть с коммутацией пакетов. Пробразом этой сети послужила технология сетей X.25. Для сети каналов D определены три уровня протоколов: физический протокол определяется стандартом 1.430/431, канальный протокол LAP-D определяется стандартом Q.921, а на сетевом уровне может использоваться протокол Q.931, с помощью которого выполняется маршрутизация вызова абонента службы с коммутацией каналов, или же протокол X.25 - в этом случае в кадры протокола LAP-D вкладываются пакеты X.25 и коммутаторы ISDN выполняют роль коммутаторов X.25.

Сеть каналов типа D внутри сети ISDN служит транспортным уровнем для так называемой *системы сигнализации номер 7 (Signal System Number 7, SS7)*. Система SS7 была разработана для целей внутреннего мониторинга и управления коммутаторами телефонной сети общего назначения. Эта система применяется и в сети ISDN. Служба SS7 относится к прикладному уровню модели OSI. Конечному пользователю ее услуги недоступны, так как сообщениями SS7 коммутаторы сети обмениваются только между собой.

Каналы типа B образуют сеть с коммутацией цифровых каналов. В терминах модели OSI на каналах типа B в коммутаторах сети ISDN определен только протокол физического уровня - протокол 1.430/431. Коммутация каналов типа B происходит по указаниям, полученным по каналу D. Когда пакеты протокола Q.931 маршрутизируются коммутатором, то при этом происходит одновременная коммутация очередной части составного канала от исходного абонента к конечному.

Протокол LAP-D принадлежит семейству HDLC и обладает всеми родовыми чертами этого семейства, но отличается некоторыми особенностями. Адрес кадра LAP-D состоит из двух байт - один байт определяет код службы, которой пересылаются вложенные в кадр пакеты, а второй используется для адресации одного из терминалов, если у пользователя к сетевому окончанию NT1 подключено несколько терминалов. Терминальное устройство может поддерживать разные службы - службу установления соединения по протоколу Q.931, службу коммутации пакетов X.25, службу мониторинга сети и т. п. Протокол LAP-D обеспечивает два режима работы: с установлением соединения (единственный режим работы протокола LLC2) и без установления

соединения. Последний режим используется, например, для управления и мониторинга сети.

Протокол Q.931 переносит в своих пакетах адрес ISDN вызываемого абонента, на основании которого и происходит настройка коммутаторов на поддержку составного канала типа В.

### **Использование служб ISDN в корпоративных сетях**

Несмотря на большие отличия от аналоговых телефонных сетей, сети ISDN сегодня используются в основном так же, как аналоговые телефонные сети, то есть как сети с коммутацией каналов, но только более скоростные: интерфейс BRI дает возможность установить дуплексный режим обмена со скоростью 128 Кбит/с (логическое объединение двух каналов типа В), а интерфейс PRI - 2,048 Мбит/с. Кроме того, качество цифровых каналов гораздо выше, чем аналоговых, а это значит, что процент искаженных кадров будет гораздо ниже и полезная скорость обмена данными существенно выше.

Обычно интерфейс BRI используется в коммуникационном оборудовании для подключения отдельных компьютеров или небольших локальных сетей, а интерфейс PRI - в маршрутизаторах, рассчитанных на сети средних размеров.

Что же касается объединения компьютерных сетей для поддержки службы с коммутацией пакетов, то здесь сети ISDN предоставляют не очень большие возможности.

На каналах типа В режим коммутации пакетов поддерживается следующим образом - либо с помощью постоянного соединения с коммутатором сети X.25, либо с помощью коммутируемого соединения с этим же коммутатором. То есть каналы типа В в сетях ISDN являются только транзитными для доступа к «настоящей» сети X.25. Собственно, это сводится к первому случаю использования сети ISDN - только как сети с коммутацией каналов.

Развитие технологии трансляции кадров на каналах типа В - технологии frame relay - привело к тому, что сети frame relay стали самостоятельным видом сетей со своей инфраструктурой каналов и коммутаторов. Поэтому эта технология рассматривается ниже в разделе, посвященном сетям с коммутацией пакетов.

Остается служба коммутации пакетов, доступная по каналу D. Так как после передачи адресной информации канал D остается свободным, по нему можно реализовать передачу компьютерных пакетов X.25, поскольку протокол LAP-D позволяет это делать. Чаще всего сеть ISDN используется не как замена сети X.25, а как разветвленная сеть доступа к менее географически распространенной и узкоспециализированной сети X.25 (рис. 6.20). Такая услуга обычно называется «доступ к сети X.25 через канал типа D». Скорость доступа к сети X.25 по каналу типа D обычно не превышает 9600 бит/с.

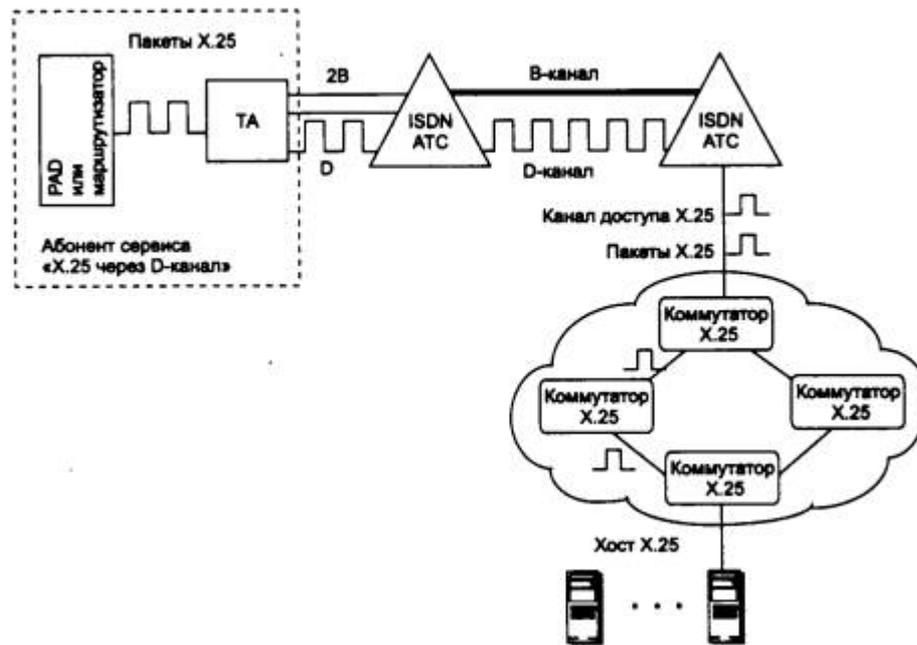


Рис. 6.20. Доступ к сети X.25 через канал типа D сети ISDN

Сети ISDN не рассматриваются разработчиками корпоративных сетей как хорошее средство для создания магистрали сети. Основная причина - отсутствие скоростной службы коммутации пакетов и невысокие скорости каналов, предоставляемых конечным пользователям. Для целей же подключения мобильных и домашних пользователей, небольших филиалов и образования резервных каналов связи сети ISDN сейчас используются очень широко, естественно там, где они существуют. Производители коммуникационного оборудования выпускают широкий спектр продуктов для подключения локальных сетей к ISDN - терминальных адаптеров, удаленных мостов и офисных маршрутизаторов невысокой стоимости.

## Выводы

- Сети с коммутацией каналов используются в корпоративных сетях в основном для удаленного доступа многочисленных домашних пользователей и гораздо реже - для соединения локальных сетей.
- Отличительными особенностями всех сетей с коммутацией каналов являются: работа в режиме установления соединений, возможность блокировки вызова конечным абонентом или промежуточным коммутатором, необходимость использования на обоих концах сети устройств, поддерживающих одну и ту же скорость передачи данных, так как этот вид сетей не выполняет промежуточную буферизацию данных.
- Сети с коммутацией каналов делятся на аналоговые и цифровые. Аналоговые сети могут использовать аналоговую (FDM) и цифровую (TDM) коммутацию, но в них всегда абонент подключен по аналоговому 2-проводному окончанию. В цифровых сетях мультиплексирование и коммутация всегда выполняются по способу коммутации TDM, а абоненты всегда подключаются по цифровому абонентскому окончанию (DSL).
- Аналоговые сети обеспечивают вызов посредством импульсного или тонового набора номера с частотой 10 Гц, причем тоновый набор примерно в 5 раз быстрее импульсного.

- Аналоговые сети используют электромеханические коммутаторы, создающие большие помехи, и электронные программно-управляемые коммутаторы. При работе электронного коммутатора в режиме частотного уплотнения (FDM) создаются дополнительные помехи при демультиплексировании и мультиплексировании абонентских каналов.
- Модемы для работы по коммутируемым аналоговым телефонным каналам должны поддерживать функцию автовызова удаленного абонента. При асинхронном интерфейсе модем использует для этого команды Hayes-совместимых модемов, а при синхронном интерфейсе - стандарт V.25 или V.25 bis.
- Основные стандарты модемов для коммутируемых каналов тональной частоты - это стандарты V.34+, V.90, V.42 и V.42 bis. Стандарт V.34+ является общим стандартом для работы по выделенным и коммутируемым каналам при 2-проводном окончании. Стандарт V.42 определяет протокол коррекции ошибок LAP-M из семейства HDLC, а стандарт VC.42 bis - метод компрессии данных при асинхронном интерфейсе. В синхронном интерфейсе для коррекции ошибок используется протокол HDLC, а для компрессии - фирменный протокол SDC компании Motorola.
- Стандарт V.90 полезен в том случае, когда между модемом пользователя и сервером удаленного доступа поставщика услуг все АТС обеспечивают цифровые методы коммутации, а сервер подключен по цифровому абонентскому окончанию. В этом случае скорость передачи данных от сервера к пользователю повышается до 56 Кбит/с за счет отсутствия аналогово-цифрового преобразования на этом направлении.
- Цифровые сети с коммутацией каналов представлены двумя технологиями: Switched 56 и ISDN.
- Switched 56 - это переходная технология, которая основана на предоставлении пользователю 4-проводного цифрового абонентского окончания T1/E1, но со скоростью 56 Кбит/с. Коммутаторы такой сети работают с использованием цифровой коммутации. Технология Switched 56 обеспечивает соединение компьютеров и локальных сетей со скоростью 56 Кбит/с.
- Цифровые сети с интегрированными услугами - ISDN - разработаны для объединения в одной сети различных транспортных и прикладных служб. ISDN предоставляет своим абонентам услуги выделенных каналов, коммутируемых каналов, а также коммутации пакетов и кадров (frame relay).
- Интерфейс UNI предоставляется пользователям ISDN в двух видах - BRI и PRI. Интерфейс BRI предназначен для массового пользователя и построен по схеме 2B+D. Интерфейс PRI имеет две разновидности - североамериканскую 23B+D и европейскую 30B+D.
- Каналы типа D образуют сеть с коммутацией пакетов, выполняющую двоякую роль в сети ISDN: во-первых, передачу запроса на установление коммутируемого канала типа B с другим абонентом сети, во-вторых, обмен пакетами X.25 с абонентами сети ISDN или внешней сети X.25, соединенной с сетью ISDN.
- Цифровое абонентское окончание DSL сети ISDN для интерфейса BRI представляет собой 2-проводной кабель с максимальной длиной 5,5 км.
- Построение глобальных связей на основе сетей ISDN в корпоративной сети ограничено в основном организацией удаленного доступа и объединением небольших локальных сетей на основании службы коммутации каналов. Служба коммутации пакетов по каналу типа D реализуется редко - это связано с его невысокой скоростью, которая обычно составляет не более 9600 бит/с. Поэтому сети ISDN используются так же, как и аналоговые телефонные сети, но только как более скоростные и надежные.

## **6.4. Компьютерные глобальные сети с коммутацией пакетов**

В предыдущих разделах рассматривалось построение глобальных связей в корпоративной сети на основе выделенных или коммутируемых каналов. Собственно, основные новые проблемы были сосредоточены при этом на физическом и канальном уровнях, так как поверх протоколов этих уровней, специфических для глобального канала, работали те же сетевые протоколы IP или IPX, которые использовались и для объединения локальных сетей.

Однако для глобальных сетей с коммутацией пакетов, таких как X.25, frame relay или АТМ, характерна оригинальная техника маршрутизации пакетов (здесь термин «пакет» используется как родовой для обозначения пакетов X.25, кадров frame relay и ячеек АТМ). Эта техника основана на понятии «виртуальный канал» и обеспечивает эффективную передачу долговременных устойчивых потоков данных.

### **6.4.1. Принцип коммутации пакетов с использованием техники виртуальных каналов**

Техника виртуальных каналов, используемая во всех территориальных сетях с коммутацией пакетов, кроме TCP/IP, состоит в следующем.

Прежде чем пакет будет передан через сеть, необходимо установить *виртуальное соединение* между абонентами сети - терминалами, маршрутизаторами или компьютерами. Существуют два типа виртуальных соединений - *коммутируемый виртуальный канал (Switched Virtual Circuit, SVC)* и *постоянный виртуальный канал (Permanent Virtual Circuit, PVC)*. При создании коммутируемого виртуального канала коммутаторы сети настраиваются на передачу пакетов динамически, по запросу абонента, а создание постоянного виртуального канала происходит заранее, причем коммутаторы настраиваются вручную администратором сети, возможно, с привлечением централизованной системы управления сетью.

Смысл создания виртуального канала состоит в том, что маршрутизация пакетов между коммутаторами сети на основании таблиц маршрутизации происходит только один раз - при создании виртуального канала (имеется в виду создание коммутируемого виртуального канала, поскольку создание постоянного виртуального канала осуществляется вручную и не требует передачи пакетов по сети). После создания виртуального канала передача пакетов коммутаторами происходит на основании так называемых *номеров* или *идентификаторов виртуальных каналов (Virtual Channel Identifier, VCI)*. Каждому виртуальному каналу присваивается значение VCI на этапе создания виртуального канала, причем это значение имеет не глобальный характер, как адрес абонента, а локальный - каждый коммутатор самостоятельно нумерует новый виртуальный канал. Кроме нумерации виртуального канала, каждый коммутатор при создании этого канала автоматически настраивает так называемые *таблицы коммутации портов* - эти таблицы описывают, на какой порт нужно передать пришедший пакет, если он имеет определенный номер VCI. Так что после прокладки виртуального канала через сеть коммутаторы больше не используют для пакетов этого соединения таблиц маршрутизации, а продвигают пакеты на основании номеров VCI небольшой разрядности. Сами таблицы коммутации портов также включают обычно меньше записей, чем таблицы

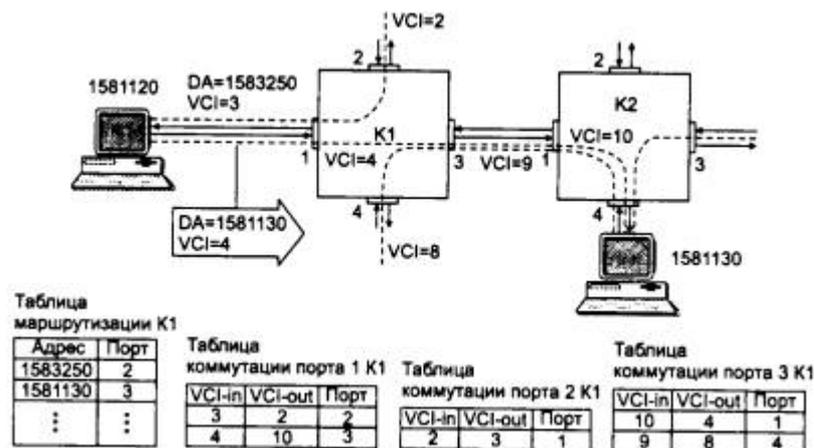
маршрутизации, так как хранят данные только о действующих на данный момент соединениях, проходящих через данный порт.

Работа сети по маршрутизации пакетов ускоряется за счет двух факторов. Первый состоит в том, что решение о продвижении пакета принимается быстрее из-за меньшего размера таблицы коммутации. Вторым фактором является уменьшение доли служебной информации в пакетах. Адреса конечных узлов в глобальных сетях обычно имеют достаточно большую длину - 14-15 десятичных цифр, которые занимают до 8 байт (в технологии АТМ - 20 байт) в служебном поле пакета. Номер же виртуального канала обычно занимает 10-12 бит, так что накладные расходы на адресную часть существенно сокращаются, а значит, полезная скорость передачи данных возрастает.

Режим PVC является особенностью технологии маршрутизации пакетов в глобальных сетях, в сетях TCP/IP такого режима работы нет. Работа в режиме PVC является наиболее эффективной по критерию производительности сети. Половину работы по маршрутизации пакетов администратор сети уже выполнил, поэтому коммутаторы быстро занимаются продвижением кадров на основе готовых таблиц коммутации портов. Постоянный виртуальный канал подобен выделенному каналу в том, что не требуется устанавливать соединение или разъединение. Обмен пакетами по PVC может происходить в любой момент времени. Отличие PVC в сетях X.25 от выделенной линии типа 64 Кбит/с состоит в том, что пользователь не имеет никаких гарантий относительно действительной пропускной способности PVC. Использование PVC обычно намного дешевле, чем аренда выделенной линии, так как пользователь делит пропускную способность сети с другими пользователями.

Режим продвижения пакетов на основе готовой таблицы коммутации портов обычно называют не маршрутизацией, а коммутацией и относят не к третьему, а ко второму (канальному) уровню стека протоколов.

Принцип маршрутизации пакетов на основе виртуальных каналов поясняется на рис. 6.21. При установлении соединения между конечными узлами используется специальный тип пакета - запрос на установление соединения (обычно называемый Call Request), который содержит многоразрядный (в примере семirazрядный) адрес узла назначения.



**Рис. 6.21.** Коммутация в сетях с виртуальными соединениями

Пусть конечный узел с адресом 1581120 начинает устанавливать виртуальное соединение с узлом с адресом 1581130. Одновременно с адресом назначения в пакете Call Request

указывается и номер виртуального соединения VCI. Этот номер имеет локальное значение для порта компьютера, через который устанавливается соединение. Через один порт можно установить достаточно большое количество виртуальных соединений, поэтому программное обеспечение протокола глобальной сети в компьютере просто выбирает свободный в данный момент для данного порта номер. Если через порт уже проложено 3 виртуальных соединения, то для нового соединения будет выбран номер 4, по которому всегда можно будет отличить пакеты данного соединения от пакетов других соединений, приходящих на этот порт.

Далее пакет типа Call Request с адресом назначения 1581130, номером VCI 4 и адресом источника 1581120 отправляется в порт 1 коммутатора K1 сети. Адрес назначения используется для маршрутизации пакета на основании таблиц маршрутизации, аналогичных таблицам маршрутизации протокола IP, но с более простой структурой каждой записи. Запись состоит из адреса назначения и номера порта, на который нужно переслать пакет. Адрес следующего коммутатора не нужен, так как все связи между коммутаторами являются связями типа «точка-точка», множественных соединений между портами нет. Стандарты глобальных сетей обычно не описывают какой-либо протокол обмена маршрутной информацией, подобный RIP или OSPF, позволяющий коммутаторам сети автоматически строить таблицы маршрутизации. Поэтому в таких сетях администратор обычно вручную составляет подобную таблицу, указывая для обеспечения отказоустойчивости основную и резервную пути для каждого адреса назначения. Исключением являются сети ATM, для которых разработан протокол маршрутизации PNNI, основанный на алгоритме состояния связей.

В приведенном примере в соответствии с таблицей маршрутизации оказалось необходимым передать пакет Call Request с порта 1 на порт 3. Одновременно с передачей пакета маршрутизатор изменяет номер виртуального соединения пакета - он присваивает пакету первый свободный номер виртуального канала для выходного порта данного коммутатора. Каждый конечный узел и каждый коммутатор ведет свой список занятых и свободных номеров виртуальных соединений для всех своих портов. Изменение номера виртуального канала делается для того, чтобы при продвижении пакетов в обратном направлении (а виртуальные каналы обычно работают в дуплексном режиме), можно было отличить пакеты данного виртуального канала от пакетов других виртуальных каналов, уже проложенных через порт 3. В примере через порт 3 уже проходит несколько виртуальных каналов, причем самый старший занятый номер - это номер 9. Поэтому коммутатор меняет номер прокладываемого виртуального канала с 4 на 10.

Кроме таблицы маршрутизации для каждого порта составляется таблица коммутации. В таблице коммутации входного порта 1 маршрутизатор отмечает, что в дальнейшем пакеты, прибывшие на этот порт с номером VCI равным 4 должны передаваться на порт 3, причем номер виртуального канала должен быть изменен на 10. Одновременно делается и соответствующая запись в таблице коммутации порта 3 - пакеты, пришедшие по виртуальному каналу 10 в обратном направлении нужно передавать на порт с номером 1, меняя номер виртуального канала на 4. Таким образом, при получении пакетов в обратном направлении компьютер-отправитель получает пакеты с тем же номером VCI, с которым он отправлял их в сеть.

В результате действия такой схемы пакеты данных уже не несут длинные адреса конечных узлов, а имеют в служебном поле только номер виртуального канала, на основании которого и производится маршрутизация всех пакетов, кроме пакета запроса на установление соединения. В сети прокладывается виртуальный канал, который не

изменяется в течение всего времени существования соединения. Его номер меняется от коммутатора к коммутатору, но для конечных узлов он остается постоянным.

За уменьшение служебного заголовка приходится платить невозможностью баланса трафика внутри виртуального соединения. При отказе какого-либо канала соединение приходится также устанавливать заново.

По существу, техника виртуальных каналов позволяет реализовать два режима продвижения пакетов - стандартный режим маршрутизации пакета на основании адреса назначения и режим коммутации пакетов на основании номера виртуального канала. Эти режимы применяются поэтапно, причем первый этап состоит в маршрутизации всего одного пакета - запроса на установление соединения.

Техника виртуальных каналов имеет свои достоинства и недостатки по сравнению с техникой IP- или IPX-маршрутизации. Маршрутизация каждого пакета без предварительного установления соединения (ни IP, ни IPX не работают с установлением соединения) эффективна для кратковременных потоков данных. Кроме того, возможно распараллеливание трафика для повышения производительности сети при наличии параллельных путей в сети. Быстрее обрабатывается отказ маршрутизатора или канала связи, так как последующие пакеты просто пойдут по новому пути (здесь, правда, нужно учесть время установления новой конфигурации в таблицах маршрутизации). При использовании виртуальных каналов очень эффективно передаются через сеть долговременные потоки, но для кратковременных этот режим не очень подходит, так как на установление соединения обычно уходит много времени - даже коммутаторы технологии ATM, работающие на очень высоких скоростях, тратят на установление соединения по 5-10 мс каждый. Из-за этого обстоятельства компания Ipsilon разработала несколько лет назад технологию IP-switching, которая вводила в сети ATM, работающие по описанному принципу виртуальных каналов, режим передачи ячеек без предварительного установления соединения. Эта технология действительно ускоряла передачу через сеть кратковременных потоков IP-пакетов, поэтому она стала достаточно популярной, хотя и не приобрела статус стандарта. В главе 5 были рассмотрены методы ускорения маршрутизации трафика IP в локальных сетях. Особенностью всех подобных методов является ускорение передачи долговременных потоков пакетов. Технология IP-switching делает то же самое, но для кратковременных потоков, что хорошо отражает рассмотренные особенности каждого метода маршрутизации - маршрутизации на индивидуальной основе или на основе потоков пакетов, для которых прокладывается виртуальный канал.

## **6.4.2. Сети X.25**

### **Назначение и структура сетей X.25**

Сети X.25 являются на сегодняшний день самыми распространенными сетями с коммутацией пакетов, используемыми для построения корпоративных сетей. Основная причина такой ситуации состоит в том, что долгое время сети X.25 были единственными доступными сетями с коммутацией пакетов коммерческого типа, в которых давались гарантии коэффициента готовности сети. Сеть Internet также имеет долгую историю существования, но как коммерческая сеть она начала эксплуатироваться совсем недавно, поэтому для корпоративных пользователей выбора не было. Кроме того, сети X.25 хорошо работают на ненадежных линиях благодаря протоколам с установлением соединения и коррекцией ошибок на двух уровнях - канальном и сетевом.



интерфейсом. Удаленный PAD представляет собой небольшое автономное устройство, подключенное к коммутатору через выделенный канал связи X.25. К удаленному устройству PAD терминалы подключаются по асинхронному интерфейсу, обычно для этой цели используется интерфейс RS-232C. Один PAD обычно обеспечивает доступ для 8, 16 или 24 асинхронных терминалов.

К основным функциям PAD, определенных стандартом X.3, относятся:

- сборка символов, полученных от асинхронных терминалов, в пакеты;
- разборка полей данных в пакетах и вывод данных на асинхронные терминалы;
- управление процедурами установления соединения и разъединения по сети X.25 с нужным компьютером;
- передача символов, включающих старт-стопные сигналы и биты проверки на четность, по требованию асинхронного терминала;
- продвижение пакетов при наличии соответствующих условий, таких как заполнение пакета, истечение времени ожидания и др.

Терминалы не имеют конечных адресов сети X.25. Адрес присваивается порту PAD, который подключен к коммутатору пакетов X.25 с помощью выделенного канала.

Несмотря на то что задача подключения «неинтеллектуальных» терминалов к удаленным компьютерам возникает сейчас достаточно редко, функции PAD все еще остаются востребованными. Устройства PAD часто используются для подключения к сетям X.25 кассовых терминалов и банкоматов, имеющих асинхронный интерфейс RS-232.

Стандарт X.28 определяет параметры терминала, а также протокол взаимодействия терминала с устройством PAD. При работе на терминале пользователь сначала проводит некоторый текстовый диалог с устройством PAD, используя стандартный набор символьных команд. PAD может работать с терминалом в двух режимах: управляющем и передачи данных. В управляющем режиме пользователь с помощью команд может указать адрес компьютера, с которым нужно установить соединение по сети X.25, а также установить некоторые параметры работы PAD, например выбрать специальный символ для обозначения команды немедленной отправки пакета, установить режим эхо - ответов символов, набираемых на клавиатуре, от устройства PAD (при этом дисплей не будет отображать символы, набираемые на клавиатуре до тех пор, пока они не вернутся от PAD - это обычный локальный режим работы терминала с компьютером). При наборе комбинации клавиш Ctrl+P PAD переходит в режим передачи данных и воспринимает все последующие символы как данные, которые нужно передать в пакете X.25 узлу назначения.

В сущности, протоколы X.3 и X.28 определяют протокол эмуляции терминала, подобный протоколу telnet стека TCP/IP. Пользователь с помощью устройства PAD устанавливает соединение с нужным компьютером, а затем может вести уже диалог с операционной системой этого компьютера (в режиме передачи данных устройством PAD), запуская нужные программы и просматривая результаты их работы на своем экране, как и при локальном подключении терминала к компьютеру.

Компьютеры и локальные сети обычно подключаются к сети X.25 непосредственно через адаптер X.25 или маршрутизатор, поддерживающий на своих интерфейсах протоколы X.25. Для управления устройствами PAD в сети существует протокол X.29, с помощью которого узел сети может управлять и конфигурировать PAD удаленно, по сети. При

необходимости передачи данных компьютеры, подключенные к сети X.25 непосредственно, услугами PAD не пользуются, а самостоятельно устанавливают виртуальные каналы в сети и передают по ним данные в пакетах X.25.

### Адресация в сетях X.25

Если сеть X.25 не связана с внешним миром, то она может использовать адрес любой длины (в пределах формата поля адреса) и давать адресам произвольные значения. Максимальная длина поля адреса в пакете X.25 составляет 16 байт.

*Рекомендация X.121* ССИТТ определяет международную систему нумерации адресов для сетей передачи данных общего пользования. Если сеть X.25 хочет обмениваться данными с другими сетями X.25, то в ней нужно придерживаться адресации стандарта X.121.

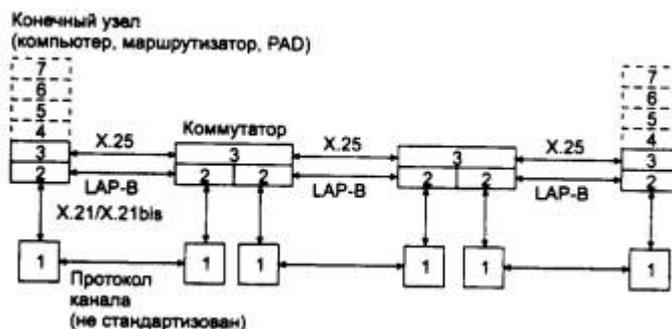
Адреса X.121 (называемые также *International Data Numbers, IDN*) имеют разную длину, которая может достигать до 14 десятичных знаков. Первые четыре цифры IDN называют *кодом идентификации сети (Data Network Identification Code, DNIC)*. DNIC поделен на две части; первая часть (3 цифры) определяет страну, в которой находится сеть, а вторая - номер сети X.25 в данной стране. Таким образом, внутри каждой страны можно организовать только 10 сетей X.25. Если же требуется перенумеровать больше, чем 10 сетей для одной страны, проблема решается тем, что одной стране дается несколько кодов. Например, Россия имела до 1995 года один код - 250, а в 1995 году ей был выделен еще один код - 251. Остальные цифры называются *номером национального терминала (National Terminal Number, NTN)*. Эти цифры позволяют идентифицировать определенный DTE в сети X.25.

Международные сети X.25 могут также использовать международный стандарт нумерации абонентов ISO 7498, описанный выше.

По стандарту ISO 7498 для нумерации сетей X.25 к адресу в формате X.121 добавляется только один байт префикса, несущий код 36 (использование в адресе только кодов десятичных цифр) или 37 (использование произвольных двоичных комбинаций). Этот код позволяет универсальным коммутаторам, например коммутаторам сети ISDN, поддерживающим также и коммутацию пакетов X.25, автоматически распознавать тип адреса и правильно выполнять маршрутизацию запроса на установление соединения.

### Стек протоколов сети X.25

Стандарты сетей X.25 описывают 3 уровня протоколов (рис. 6.23).



**Рис. 6.23.** Стек протоколов сети X.25

- На физическом уровне определены синхронные интерфейсы X.21 и X.21 bis к оборудованию передачи данных - либо DSU/CSU, если выделенный канал является цифровым, либо к синхронному модему, если канал выделенный.
- На канальном уровне используется подмножество протокола HDLC, обеспечивающее возможность автоматической передачи в случае возникновения ошибок в линии. Предусмотрен выбор из двух процедур доступа к каналу: LAP или LAP-B.
- На сетевом уровне определен протокол X.25/3 обмена пакетами между конечным оборудованием и сетью передачи данных.

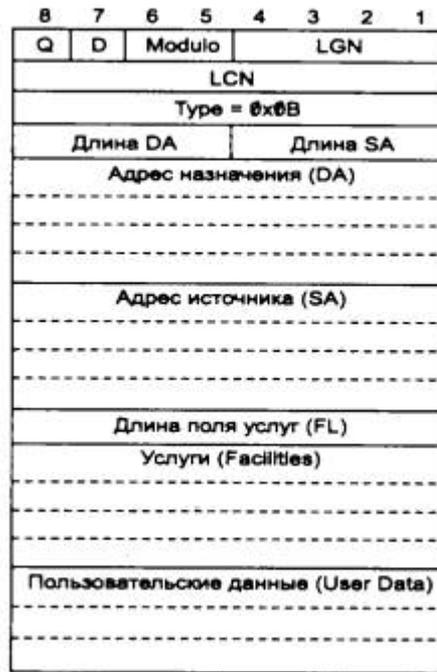
Транспортный уровень может быть реализован в конечных узлах, но он стандартом не определяется.

*Протокол физического уровня* канала связи не оговорен, и это дает возможность использовать каналы разных стандартов.

*На канальном уровне* обычно используется протокол LAP-B. Этот протокол обеспечивает сбалансированный режим работы, то есть оба узла, участвующих в соединении, равноправны. По протоколу LAP-B устанавливается соединение между пользовательским оборудованием DTE (компьютером, IP- или IPX-маршрутизатором) и коммутатором сети. Хотя стандарт это и не оговаривает, но по протоколу LAP-B возможно также установление соединения на канальном уровне внутри сети между непосредственно связанными коммутаторами. Протокол LAP-B почти во всех отношениях идентичен протоколу LLC2, описанному в главе 3, кроме адресации. Кадр LAP-B содержит одно однобайтовое адресное поле (а не два - DSAP и SSAP), в котором указывается не адрес службы верхнего уровня, а направление передачи кадра - 0x01 для направления команд от DTE к DCE (в сеть) или ответов от DCE к DTE (из сети) и 0x03 для направления ответов от DTE к DCE или команд от DCE к DTE. Поддерживается как нормальный режим (с максимальным окном в 8 кадров и однобайтовым полем управления), так и расширенный режим (с максимальным окном в 128 кадров и двухбайтовым полем управления).

*Сетевой уровень X.25/3* (в стандарте он назван не сетевым, а пакетным уровнем) реализуется с использованием 14 различных типов пакетов, по назначению аналогичных типам кадров протокола LAP-B. Так как надежную передачу данных обеспечивает протокол LAP-B, протокол X.25/3 выполняет функции маршрутизации пакетов, установления и разрыва виртуального канала между конечными абонентами сети и управления потоком пакетов.

После установления соединения на канальном уровне конечный узел должен установить виртуальное соединение с другим конечным узлом сети. Для этого он в кадрах LAP-B посылает пакет Call Request протокола X.25. Формат пакета Call Request показан на рис. 6.24.



**Рис. 6.24.** Формат пакета Call Request

Поля, расположенные в первых трех байтах заголовка пакета, используются во всех типах кадров протокола X.25. Признаки Q и D и Modulo расположены в старшей части первого байта заголовка. Признак Q предназначен для распознавания на сетевом уровне типа информации в поле данных пакета. При получении пакета информация, расположенная в поле данных, а также значение бита Q передается верхним уровням пользовательского стека протоколов (непосредственно транспортному уровню этого стека). Значение Q=1 означает управляющую пользовательскую информацию, а Q=0 - данные. Признак D означает подтверждение приема пакета узлом назначения. Обычный механизм подтверждения принятия пакетов с помощью квитанций имеет для протокола X.25 только локальный смысл - прием пакета подтверждает ближайший коммутатор сети, через который конечный узел запросил и установил виртуальное соединение. Если же узел-источник запросил подтверждение приема конечным узлом, то это подтверждение индицируется установкой бита D (delivery confirmation) в пакетах, идущих от узла назначения.

Признак Modulo говорит о том, по какому модулю - 8 или 128 - ведется нумерация пакетов. Значение 10 означает модуль 128, а 01 - модуль 8.

Поле *Номер логической группы (Logical Group Number, LGN)* содержит значение номера логической группы виртуального канала. Каналы образуют логические группы по функциональному признаку, например:

- постоянный виртуальный канал;
- коммутируемый виртуальный канал только для входящих сообщений (симплексный);
- коммутируемый виртуальный канал только для исходящих сообщений (симплексный);
- коммутируемый дуплексный виртуальный канал.

Максимальное количество логических групп - 12, хотя в конкретной сети допустимо и меньшее количество.

Поле *Номер логического канала (Logical Channel Number, LCN)* содержит номер виртуального канала, назначаемый узлом-источником (для коммутируемых виртуальных каналов) или администратором сети (для постоянных виртуальных каналов). Максимальное количество виртуальных каналов, проходящих через один порт, равно 256.

Поле *Tun (Type)* указывает тип пакета. Например, для пакета Call Request отведено значение типа, равное 0x0B. Младший бит этого поля определяет, является ли пакет управляющим (бит равен 1) или пакетом данных (бит равен 0). Значение 0x0B содержит 1 в младшем бите, поэтому это управляющий пакет, а остальные биты в этом случае определяют подтип пакета. В пакете данных остальные биты поля *Type* используются для переноса номеров квитанций N(S) и N(R).

Следующие два поля определяют длину адресов назначения и источника (DA и SA) в пакете. Запрос на установление виртуального канала указывает оба адреса. Первый адрес нужен для маршрутизации пакета Call Request, а второй - для принятия решения узлом назначения о возможности установления виртуального соединения с данным узлом-источником. Если узел назначения решает принять запрос, то он должен отправить пакет Call Accepted - «Запрос принят», в котором также указать оба адреса, поменяв их, естественно, местами. Адреса могут иметь произвольный формат или же соответствовать требованиям стандарта X.121 или ISO 7498.

Сами адреса назначения и источника занимают отведенное им количество байт в следующих двух полях.

Поля *Длина поля услуг (Facilities length)* и *Услуги (Facilities)* нужны для согласования дополнительных услуг, которые оказывает сеть абоненту. Например, услуга «Идентификатор пользователя сети» позволяет задать идентификатор пользователя (отличный от его сетевого адреса), на основании которого могут оплачиваться счета за пользование сетью. Пользователь с помощью услуги «Согласование параметров управления потоком» может попросить сеть использовать нестандартные значения параметров протокола - размера окна, максимального размера поля данных пакета и т. п. Протокол X.25 допускает следующие максимальные значения длины поля данных: 16,32, 64,128, 256,512 и 1024 байт. Предпочтительной является длина 128 байт.

Пакет Call Request принимается коммутатором сети и маршрутизируется на основании таблицы маршрутизации, прокладывая при этом виртуальный канал. Начальное значение номера виртуального канала задает пользователь в этом пакете в поле LCN (аналог поля VCI, упоминавшегося при объяснении принципа установления виртуальных каналов). Протокол маршрутизации для сетей X.25 не определен.

Для сокращения размера адресных таблиц в коммутаторах в сетях X.25 реализуется принцип агрегирования адресов. Все терминалы, имеющие общий префикс в адресе, подключаются при этом к общему входному коммутатору подсети, соответствующей значению префикса. Например, если путь ко всем терминалам, имеющим адреса с префиксом 250 720, пролегает через общий коммутатор K1, то в таблице маршрутизации коммутаторов, через которые проходит путь к коммутатору K1, помещается единственная запись - 250 720, которая соответствует как конечному узлу 250 720 11, так и конечному

узлу 250 720 26. Маски в коммутаторах не используются, а младшие разряды адреса, которые не нужны при маршрутизации, просто опускаются.

После установления виртуального канала конечные узлы обмениваются пакетами другого формата - формата пакетов данных (пакет Data). Этот формат похож на описанный формат пакета Call Request - первые три байта в нем имеют те же поля, а адресные поля и поля услуг отсутствуют. Пакет данных не имеет поля, которое бы определяло тип переносимых в пакете данных, то есть поля, аналогичного полю Protocol в IP-пакете. Для устранения этого недостатка первый байт в поле данных всегда интерпретируется как признак типа данных.

Коммутаторы (ЦКП) сетей X.25 представляют собой гораздо более простые и дешевые устройства по сравнению с маршрутизаторами сетей TCP/IP. Это объясняется тем, что они не поддерживают процедур обмена маршрутной информацией и нахождения оптимальных маршрутов, а также не выполняют преобразований форматов кадров канальных протоколов. По принципу работы они ближе к коммутаторам локальных сетей, чем к маршрутизаторам. Однако работа, которую выполняют коммутаторы X.25 над пришедшими кадрами, включает больше этапов, чем при продвижении кадров коммутаторами локальных сетей. Коммутатор X.25 должен принять кадр LAP-B и ответить на него другим кадром LAP-B, в котором подтвердить получение кадра с конкретным номером. При утере или искажении кадра коммутатор должен организовать повторную передачу кадра. Если же с кадром LAP-B все в порядке, то коммутатор должен извлечь пакет X.25, на основании номера виртуального канала определить выходной порт, а затем сформировать новый кадр LAP-B для дальнейшего продвижения пакета. Коммутаторы локальных сетей такой работой не занимаются и просто передают кадр в том виде, в котором он пришел, на выходной порт.

В результате производительность коммутаторов X.25 оказывается обычно невысокой - несколько тысяч пакетов в секунду. Для низкоскоростных каналов доступа, которыми много лет пользовались абоненты этой сети (1200-9600 бит/с), такой производительности коммутаторов хватало для работы сети.

Гарантий пропускной способности сеть X.25 не дает. Максимум, что может сделать сеть, - это приоритезировать трафик отдельных виртуальных каналов. Приоритет канала указывается в запросе на установление соединения в поле услуг.

Протоколы сетей X.25 были специально разработаны для низкоскоростных линий с высоким уровнем помех. Именно такие линии составляют пока большую часть телекоммуникационной структуры нашей страны, поэтому сети X.25 будут по-прежнему еще долго являться наиболее рациональным выбором для многих регионов.

### **6.4.3. Сети Frame Relay**

#### **Назначение и общая характеристика**

Сети frame relay - сравнительно новые сети, которые гораздо лучше подходят для передачи пульсирующего трафика локальных сетей по сравнению с сетями X.25, правда, это преимущество проявляется только тогда, когда каналы связи приближаются по качеству к каналам локальных сетей, а для глобальных каналов такое качество обычно достижимо только при использовании волоконно-оптических кабелей.

Преимущество сетей frame relay заключается в их низкой протокольной избыточности и дейтаграммном режиме работы, что обеспечивает высокую пропускную способность и небольшие задержки кадров. Надежную передачу кадров технология frame relay не обеспечивает. Сети frame relay специально разрабатывались как общественные сети для соединения частных локальных сетей. Они обеспечивают скорость передачи данных до 2 Мбит/с.

Особенностью технологии frame relay является гарантированная поддержка основных показателей качества транспортного обслуживания локальных сетей - средней скорости передачи данных по виртуальному каналу при допустимых пульсациях трафика. Кроме технологии frame relay гарантии качества обслуживания на сегодня может предоставить только технология АТМ, в то время как остальные технологии предоставляют требуемое качество обслуживания только в режиме «с максимальными усилиями» (best effort), то есть без гарантий.

Технология frame relay в сетях ISDN стандартизована как служба. В рекомендациях 1.122, вышедших в свет в 1988 году, эта служба входила в число дополнительных служб пакетного режима, но затем уже при пересмотре рекомендаций в 1992-93 гг. она была названа службой frame relay и вошла в число служб режима передачи кадров наряду со службой frame switching. Служба frame switching работает в режиме гарантированной доставки кадров с регулированием потока. На практике поставщики телекоммуникационных услуг предлагают только службу frame relay.

Технология frame relay сразу привлекла большое внимание ведущих телекоммуникационных компаний и организаций по стандартизации. В ее становлении и стандартизации помимо ССИТТ (ITU-T) активное участие принимают Frame Relay Forum и комитет T1S1 института ANSI.

Некоммерческую организацию Frame Relay Forum образовали в 1990 году компании Cisco Systems, StrataCom (сегодня - подразделение Cisco Systems), Northern Telecom и Digital Equipment Corporation для развития и конкретизации стандартов ССИТТ и ANSI. Спецификации Frame Relay Forum носят название FRF и имеют порядковые номера. Спецификации FRF часто стандартизуют те аспекты технологии frame relay, которые еще не нашли свое отражение в стандартах ITU-T и ANSI. Например, спецификация FRF. 11 определяет режим передачи голоса по сетям frame relay.

Консорциум Frame Relay Forum разработал спецификацию, отвечающую требованиям базового протокола frame relay, разработанного T1S1 и ССИТТ. Однако консорциум расширил базовый протокол, включив дополнительные возможности по управлению сетью со стороны пользователя, что очень важно при использовании сетей frame relay в сложных составных корпоративных сетях. Эти дополнения к frame relay называют обобщенно *Local Management Interface (LMI) - локальный интерфейс управления*.

Стандарты ITU-T обычно отличаются высоким уровнем сложности и наличием многих возможностей, которые достаточно трудно воплотить на практике. Спецификации Frame Relay Forum упрощают некоторые аспекты стандартов ITU-T или отбрасывают некоторые возможности. Так, технология frame switching не нашла своего отражения в спецификациях FRF, а процедуры создания коммутируемых виртуальных каналов появились в спецификациях FRF позже, чем в стандартах ITU-T, и оказались более простыми.

Стандарты frame relay, как ITU-T/ANSI, так и Frame Relay Forum, определяют два типа виртуальных каналов - постоянные (PVC) и коммутируемые (SVC). Это соответствует потребностям пользователей, так как для соединений, по которым трафик передается почти всегда, больше подходят постоянные каналы, а для соединений, которые нужны только на несколько часов в месяц, больше подходят коммутируемые каналы.

Однако производители оборудования frame relay и поставщики услуг сетей frame relay начали с поддержки только постоянных виртуальных каналов. Это, естественно, является большим упрощением технологии. Тем не менее в последние годы оборудование, поддерживающее коммутируемые виртуальные каналы, появилось, и появились поставщики, предлагающие такую услугу.

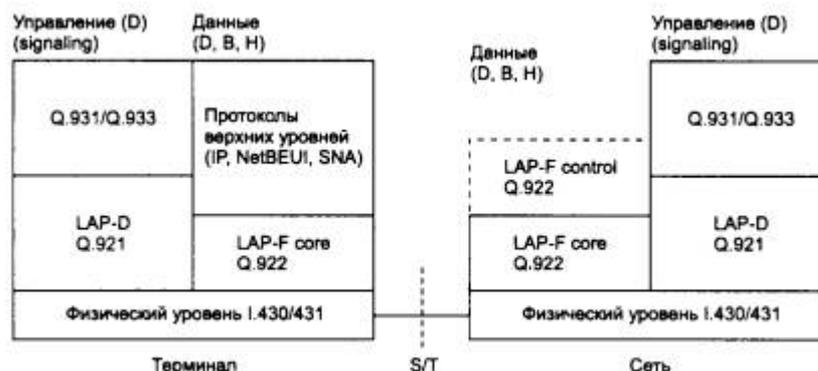
### Стек протоколов frame relay

Технология frame relay использует для передачи данных технику виртуальных соединений, аналогичную той, которая применялась в сетях X.25, однако стек протоколов frame relay передает кадры (при установленном виртуальном соединении) по протоколам только физического и канального уровней, в то время как в сетях X.25 и после установления соединения пользовательские данные передаются протоколом 3-го уровня.

Кроме того, протокол канального уровня LAP-F в сетях frame relay имеет два режима работы - основной (core) и управляющий (control). В основном режиме, который фактически практикуется в сегодняшних сетях frame relay, кадры передаются без преобразования и контроля, как и в коммутаторах локальных сетей. За счет этого сети frame relay обладают весьма высокой производительностью, так как кадры в коммутаторах не подвергаются преобразованию, а сеть не передает квитанции подтверждения между коммутаторами на каждый пользовательский кадр, как это происходит в сети X.25. Пульсации трафика передаются сетью frame relay достаточно быстро и без больших задержек.

При таком подходе уменьшаются накладные расходы при передаче пакетов локальных сетей, так как они вкладываются сразу в кадры канального уровня, а не в пакеты сетевого уровня, как это происходит в сетях X.25.

Структура стека (рис. 6.25) хорошо отражает происхождение технологии frame relay в недрах технологии ISDN, так как сети frame relay заимствуют многое из стека протоколов ISDN, особенно в процедурах установления коммутируемого виртуального канала.



**Рис. 6.25.** Стек протоколов frame relay

Основу технологии составляет протокол LAP-F core, который является весьма упрощенной версией протокола LAP-D. Протокол LAP-F (стандарт Q.922 ITU-T) работает на любых каналах сети ISDN, а также на каналах типа T1/E1. Терминальное оборудование посылает в сеть кадры LAP-F в любой момент времени, считая что виртуальный канал в сети коммутаторов уже проложен. При использовании PVC оборудованию frame relay нужно поддерживать только протокол LAP-F core.

Протокол LAP-F control является необязательной надстройкой над LAP-F core, которая выполняет функции контроля доставки кадров и управления потоком. С помощью протокола LAP-F control сетью реализуется служба frame switching.

Для установки коммутируемых виртуальных каналов стандарт ITU-T предлагает канал D пользовательского интерфейса. На нем по-прежнему работает знакомый протокол LAP-D, который используется для надежной передачи кадров в сетях ISDN. Поверх этого протокола работает протокол Q.931 или протокол Q.933 (который является упрощением и модификацией протокола Q.931 ISDN), устанавливающий виртуальное соединение на основе адресов конечных абонентов (в стандарте E.164 или ISO 7498), а также номера виртуального соединения, который в технологии frame relay носит название Data Link Connection Identifier - DLCI.

После того как коммутируемый виртуальный канал в сети frame relay установлен посредством протоколов LAP-D и Q.931/Q.933, кадры могут транслироваться по протоколу LAP-F, который коммутирует их с помощью таблиц коммутации портов, в которых используются локальные значения DLCI. Протокол LAP-F core выполняет не все функции канального уровня по сравнению с протоколом LAP-D, поэтому ITU-T изображает его на пол-уровня ниже, чем протокол LAP-D, оставляя место для функций надежной передачи пакетов протоколу LAP-F control.

Из-за того, что технология frame relay заканчивается на канальном уровне, она хорошо согласуется с идеей инкапсуляции пакетов единого сетевого протокола, например IP, в кадры канального уровня любых сетей, составляющих интернет. Процедуры взаимодействия протоколов сетевого уровня с технологией frame relay стандартизованы, например, принята спецификация RFC 1490, определяющая методы инкапсуляции в трафик frame relay трафика сетевых протоколов и протоколов канального уровня локальных сетей и SNA.

Другой особенностью технологии frame relay является отказ от коррекции обнаруженных в кадрах искажений. Протокол frame relay подразумевает, что конечные узлы будут обнаруживать и корректировать ошибки за счет работы протоколов транспортного или более высоких уровней. Это требует некоторой степени интеллектуальности от конечного оборудования, что по большей части справедливо для современных локальных сетей. В этом отношении технология frame relay близка к технологиям локальных сетей, таким как Ethernet, Token Ring и FDDI, которые тоже только отбрасывают искаженные кадры, но сами не занимаются их повторной передачей.

Структура кадра протокола LAP-F приведена на рис. 6.26.

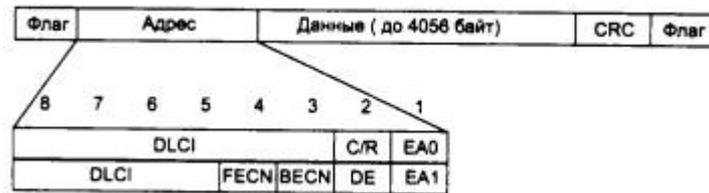


Рис. 6.26. Формат кадра LAP-F

За основу взят формат кадра HDLC, но поле адреса существенно изменило свой формат, а поле управления вообще отсутствует.

Поле номера виртуального соединения (Data Link Connection Identifier, DLCI) состоит из 10 битов, что позволяет использовать до 1024 виртуальных соединений. Поле DLCI может занимать и большее число разрядов - этим управляют признаки EA0 и EA1 (Extended Address - расширенный адрес). Если бит в этом признаке установлен в ноль, то признак называется EA0 и означает, что в следующем байте имеется продолжение поля адреса, а если бит признака равен 1, то поле называется EA1 и индицирует окончание поля адреса.

Десятиразрядный формат DLCI является основным, но при использовании трех байт для адресации поле DLCI имеет длину 16 бит, а при использовании четырех байт - 23 бита.

Стандарты frame relay (ANSI, ITU-T) распределяют адреса DLCI между пользователями и сетью следующим образом:

- 0 - используется для виртуального канала локального управления (LMI);
- 1 -15 - зарезервированы для дальнейшего применения;
- 16-991 - используются абонентами для нумерации PVC и SVC;
- 992-1007 - используются сетевой транспортной службой для внутрисетевых соединений;
- 1008-1022 - зарезервированы для дальнейшего применения;
- 1023 - используются для управления канальным уровнем.

Таким образом, в любом интерфейсе frame relay для окончных устройств пользователя отводится 976 адресов DLCI.

Поле данных может иметь размер до 4056 байт.

Поле C/R имеет обычный для протокола семейства HDLC смысл - это признак «команда-ответ».

Поля DE, FECN и BECN используются протоколом для управлением трафиком и поддержания заданного качества обслуживания виртуального канала.

---

**ПРИМЕЧАНИЕ** Способность технологии frame relay гарантировать некоторые параметры качества обслуживания (QoS) является ключевой. Именно поэтому данная технология получила широкое распространение и считается одной из самых перспективных технологий глобальных сетей.

## Поддержка качества обслуживания

Технология frame relay благодаря особому подходу гарантированно обеспечивает основные параметры качества транспортного обслуживания, необходимые при объединении локальных сетей.

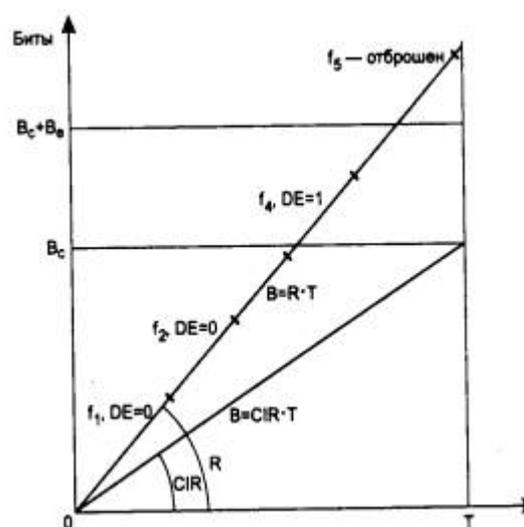
Вместо приоритезации трафика используется процедура заказа качества обслуживания при установлении соединения, отсутствующая в сетях X.25 и пробивающая себе дорогу в сетях TCP/IP в форме экспериментального протокола RSVP, который пока не поддерживается поставщиками услуг Internet. В технологии frame relay заказ и поддержание качества обслуживания встроены в технологию.

Для каждого виртуального соединения определяется несколько параметров, влияющих на качество обслуживания.

- *CIR (Committed Information Rate)* - согласованная информационная скорость, с которой сеть будет передавать данные пользователя.
- *Bc (Committed Burst Size)* - согласованный объем пульсации, то есть максимальное количество байтов, которое сеть будет передавать от этого пользователя за интервал времени  $T$ .
- *Be (Excess Burst Size)* - дополнительный объем пульсации, то есть максимальное количество байтов, которое сеть будет пытаться передать сверх установленного значения  $B_c$  за интервал времени  $T$ .

Если эти величины определены, то время  $T$  определяется формулой:  $T = B_c / CIR$ . Можно задать значения  $CIR$  и  $T$ , тогда производной величиной станет величина всплеска трафика  $B_c$ .

Соотношение между параметрами  $CIR$ ,  $B_c$ ,  $B_e$  и  $T$  иллюстрирует рис. 6.27.



**Рис. 6.27.** Реакция сети на поведение пользователя:  $R$  - скорость канала доступа;  $f_1$ - $f_4$  кадры

Гарантий по задержкам передачи кадров технология frame relay не дает, оставляя эту услугу сетям АТМ.

Основным параметром, по которому абонент и сеть заключают соглашение при установлении виртуального соединения, является согласованная скорость передачи данных. Для постоянных виртуальных каналов это соглашение является частью контракта на пользование услугами сети. При установлении коммутируемого виртуального канала соглашение о качестве обслуживания заключается автоматически с помощью протокола Q.931/933 — требуемые параметры CIR,  $V_c$  и  $V_e$  передаются в пакете запроса на установление соединения.

Так как скорость передачи данных измеряется на каком-то интервале времени, то интервал  $T$  и является таким контрольным интервалом, на котором проверяются условия соглашения. В общем случае пользователь не должен за этот интервал передать в сеть данные со средней скоростью, превосходящей CIR. Если же он нарушает соглашение, то сеть не только не гарантирует доставку кадра, но помечает этот кадр признаком DE(Discard Eligibility), равным 1, то есть как кадр, подлежащий удалению. Однако кадры, отмеченные таким признаком, удаляются из сети только в том случае, если коммутаторы сети испытывают перегрузки. Если же перегрузок нет, то кадры с признаком DE=1 доставляются адресату.

Такое щадящее поведение сети соответствует случаю, когда общее количество данных, переданных пользователем в сеть за период  $T$ , не превышает объема  $V_c+V_e$ . Если же этот порог превышен, то кадр не помечается признаком DE, а немедленно удаляется из сети.

На рис. 6.27 изображен случай, когда за интервал времени  $T$  в сеть по виртуальному каналу поступило 5 кадров. Средняя скорость поступления информации в сеть составила на этом интервале  $R$  бит/с, и она оказалась выше CIR. Кадры  $f_1$ ,  $f_2$  и  $f_3$  доставили в сеть данные, суммарный объем которых не превысил порог  $V_c$ , поэтому эти кадры ушли дальше транзитом с признаком DE=0. Данные кадра 4, прибавленные к данным кадров  $f_1$ ,  $f_2$  и  $f_3$ , уже превысили порог  $V_c$ , но еще не превысили порога  $V_c+V_e$ , поэтому кадр  $f_4$  также ушел дальше, но уже с признаком DE=1. Данные кадра  $f_5$ , прибавленные к данным предыдущих кадров, превысили порог  $V_c+V_e$ , поэтому этот кадр был удален из сети.

Для контроля соглашения о параметрах качества обслуживания все коммутаторы сети frame relay выполняют так называемый алгоритм «дырявого ведра» (Leaky Bucket). Алгоритм использует счетчик  $S$  поступивших от пользователя байт. Каждые  $T$  секунд этот счетчик уменьшается на величину  $V_c$  (или же сбрасывается в 0, если значение счетчика меньше, чем  $V_c$ ). Все кадры, данные которых не увеличили значение счетчика свыше порога  $V_c$ , пропускаются в сеть со значением признака DE=0. Кадры, данные которых привели к значению счетчика, большему  $V_c$ , но меньшему  $V_c+V_e$ , также передаются в сеть, но с признаком DE=1. И наконец, кадры, которые привели к значению счетчика, большему  $V_c+V_e$ , отбрасываются коммутатором.

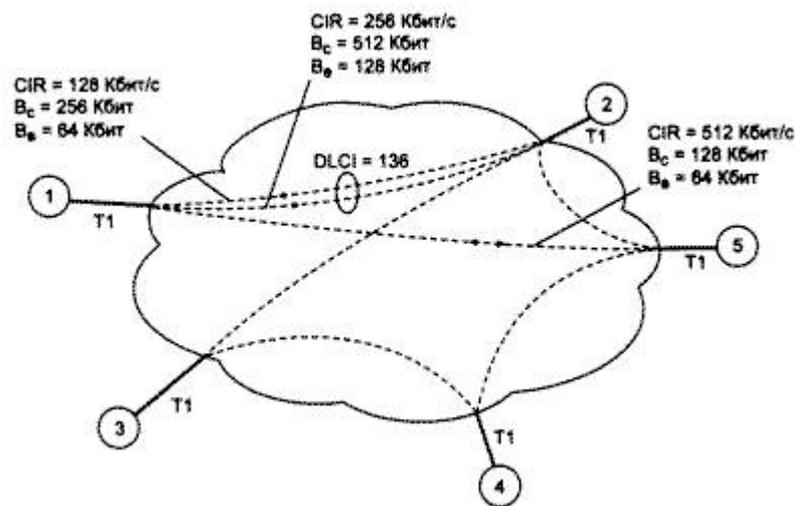
Пользователь может договориться о включении не всех параметров качества обслуживания на данном виртуальном канале, а только некоторых.

Например, можно использовать только параметры CIR и  $V_c$ . Этот вариант дает более качественное обслуживание, так как кадры никогда не отбрасываются коммутатором сразу. Коммутатор только помечает кадры, которые превышают порог  $V_c$  за время  $T$ , признаком DE=1. Если сеть не сталкивается с перегрузками, то кадры такого канала

всегда доходят до конечного узла, даже если пользователь постоянно нарушает договор с сетью.

Популярен еще один вид заказа на качество обслуживания, при котором оговаривается только порог  $V_e$ , а скорость CIR полагается равной нулю. Все кадры такого канала сразу же отмечаются признаком  $DE=1$ , но отправляются в сеть, а при превышении порога  $V_e$  они отбрасываются. Контрольный интервал времени  $T$  в этом случае вычисляется как  $V_e/R$ , где  $R$  — скорость доступа канала.

На рис. 6.28 приведен пример сети frame relay с пятью удаленными региональными отделениями корпорации. Обычно доступ к сети осуществляется каналами с большей чем CIR пропускной способностью. Но при этом пользователь платит не за пропускную способность канала, а за заказанные величины CIR,  $V_c$  и  $V_e$ . Так, при использовании в качестве канала доступа канала T1 и заказа службы со скоростью CIR, равной 128 Кбит/с, пользователь будет платить только за скорость 128 Кбит/с, а скорость канала T1 в 1,544 Мбит/с будет влиять на верхнюю границу возможной пульсации  $V_c+V_e$ .



**Рис. 6.28.** Пример использования сети frame relay

Параметры качества обслуживания могут быть различными для разных направлений виртуального канала. Так, на рис. 6.28 абонент 1 соединен с абонентом 2 виртуальным каналом с  $DLCI=136$ . При направлении от абонента 1 к абоненту 2 канал имеет среднюю скорость 128 Кбит/с с пульсациями  $V_c=256$  Кбит (интервал  $T$  составил 1 с) и  $V_e=64$  Кбит. А при передаче кадров в обратном направлении средняя скорость уже может достигать значения 256 Кбит/с с пульсациями  $V_c=512$  Кбит и  $V_e=128$  Кбит.

Механизм заказа средней пропускной способности и максимальной пульсации является основным механизмом управления потоками кадров в сетях frame relay. Соглашения должны заключаться таким образом, чтобы сумма средних скоростей виртуальных каналов не превосходила возможностей портов коммутаторов. При заказе постоянных каналов за это отвечает администратор, а при установлении коммутируемых виртуальных каналов - программное обеспечение коммутаторов. При правильно взятых на себя обязательствах сеть борется с перегрузками путем удаления кадров с признаком  $DE=1$  и кадров, превысивших порог  $V_c+V_e$ .

Тем не менее в технологии frame relay определен еще и дополнительный (необязательный) механизм управления кадрами. Это механизм оповещения конечных пользователей о том, что в коммутаторах сети возникли перегрузки (переполнение необработанными кадрами). Бит FECN (Forward Explicit Congestion Bit) кадра извещает об этом принимающую сторону. На основании значения этого бита принимающая сторона должна с помощью протоколов более высоких уровней (TCP/IP, SPX и т. п.) известить передающую сторону о том, что та должна снизить интенсивность отправки пакетов в сеть.

Бит BECN (Backward Explicit Congestion Bit) извещает о переполнении в сети передающую сторону и является рекомендацией немедленно снизить темп передачи. Бит BECN обычно обрабатывается на уровне устройств доступа к сети frame relay - маршрутизаторов, мультиплексоров и устройств CSU/DSU. Протокол frame relay не требует от устройств, получивших кадры с установленными битами FECN и BECN, немедленного прекращения передачи кадров в данном направлении, как того требуют кадры RNR сетей X.25. Эти биты должны служить указанием для протоколов более высоких уровней (TCP, SPX, NCP и т. п.) о снижении темпа передачи пакетов. Так как регулирование потока иницируется в разных протоколах по-разному - как принимающей стороной, так и передающей, - то разработчики протоколов frame relay учли оба направления снабжения предупреждающей информацией о переполнении сети.

В общем случае биты FECN и BECN могут игнорироваться. Но обычно устройства доступа к сети frame relay (Frame Relay Access Device, FRAD) обрабатывают по крайней мере признак BECN.

При создании коммутируемого виртуального канала параметры качества обслуживания передаются в сеть с помощью протокола Q.931. Этот протокол устанавливает виртуальное соединение с помощью нескольких служебных пакетов.

Абонент сети frame relay, который хочет установить коммутируемое виртуальное соединение с другим абонентом, должен передать в сеть по каналу D сообщение SETUP, которое имеет несколько параметров, в том числе:

- DLCI;
- адрес назначения (в формате E.164, X.121 или ISO 7498);
- максимальный размер кадра в данном виртуальном соединении;
- запрашиваемое значение CIR для двух направлений;
- запрашиваемое значение  $B_c$  для двух направлений;
- запрашиваемое значение  $B_e$  для двух направлений.

Коммутатор, с которым соединен пользователь, сразу же передает пользователю пакет CALL PROCEEDING - вызов обрабатывается. Затем он анализирует параметры, указанные в пакете, и если коммутатор может их удовлетворить (располагая, естественно, информацией о том, какие виртуальные каналы на каждом порту он уже поддерживает), то пересылает сообщение SETUP следующему коммутатору. Следующий коммутатор выбирается по таблице маршрутизации. Протокол автоматического составления таблиц маршрутизации для технологии frame relay не определен, поэтому может использоваться фирменный протокол производителя оборудования или же ручное составление таблицы. Если все коммутаторы на пути к конечному узлу согласны принять запрос, то пакет SETUP передается в конечном счете вызываемому абоненту. Вызываемый абонент немедленно передает в сеть пакет CALL PROCEEDING и начинает обрабатывать запрос. Если запрос принимается, то вызываемый абонент передает в сеть новый пакет -

CONNECT, который проходит в обратном порядке по виртуальному пути. Все коммутаторы должны отметить, что данный виртуальный канал принят вызываемым абонентом. При поступлении сообщения CONNECT вызываемому абоненту он должен передать в сеть пакет CONNECT ACKNOWLEDGE.

Сеть также должна передать вызываемому абоненту пакет CONNECT ACKNOWLEDGE, и на этом соединение считается установленным. По виртуальному каналу могут передаваться данные.

### **Использование сетей frame relay**

Услуги frame relay обычно предоставляются теми же операторами, которые эксплуатируют сети X.25. Большая часть производителей выпускает сейчас коммутаторы, которые могут работать как по протоколам X.25, так и по протоколам frame relay.

Технология frame relay начинает занимать в территориальных сетях с коммутацией пакетов ту же нишу, которую заняла в локальных сетях технология Ethernet. Их роднит то, что они предоставляют только быстрые базовые транспортные услуги, доставляя кадры в узел назначения без гарантий, дейстаграмным способом. Однако если кадры теряются, то сеть frame relay, как и сеть Ethernet, не предпринимает никаких усилий для их восстановления. Отсюда следует простой вывод - полезная пропускная способность прикладных протоколов при работе через сети frame relay будет зависеть от качества каналов и методов восстановления пакетов на уровнях стека, расположенного над протоколом frame relay. Если каналы качественные, то кадры будут теряться и искажаться редко, так что скорость восстановления пакетов протоколом TCP или NCP будет вполне приемлема. Если же кадры искажаются и теряются часто, то полезная пропускная способность в сети frame relay может упасть в десятки раз, как это происходит в сетях Ethernet при плохом состоянии кабельной системы.

Поэтому сети frame relay следует применять только при наличии на магистральных каналах волоконно-оптических кабелей высокого качества. Каналы доступа могут быть и на витой паре, как это разрешает интерфейс G.703 или абонентское окончание ISDN. Используемая на каналах доступа аппаратура передачи данных должна обеспечить приемлемый уровень искажения данных - не ниже  $10^{-6}$ .

На величины задержек сеть frame relay гарантий не дает, и это основная причина, которая сдерживает применение этих сетей для передачи голоса. Передача видеоизображения тормозится и другим отличием сетей frame relay от ATM - низкой скоростью доступа в 2 Мбит/с, что для передачи видео часто недостаточно.

Тем не менее многие производители оборудования для сетей frame relay поддерживают передачу голоса. Поддержка устройствами доступа заключается в присвоении кадрам, переносящим замеры голоса, приоритетов. Магистральные коммутаторы frame relay должны обслуживать такие кадры в первую очередь. Кроме того, желательно, чтобы сеть frame relay, передающая кадры с замерами голоса, была недогруженной. При этом в коммутаторах не возникают очереди кадров, и средние задержки в очередях близки к нулевым.

Необходимо также соблюдение еще одного условия для качественной передачи голоса - передавать замеры голоса необходимо в кадрах небольших размеров, иначе на качество

будут влиять задержки упаковки замеров в кадр, так называемые задержки пакетизации, которые более подробно рассматриваются в разделе, посвященном технологии АТМ.

Для стандартизации механизмов качественной передачи голоса через сеть frame relay выпущена спецификация FRF.11. Однако в ней решены еще не все проблемы передачи голоса, поэтому работа в этом направлении продолжается.

Ввиду преобладания в коммерческих сетях frame relay услуг постоянных коммутируемых каналов и гарантированной пропускной способности, эти сети предоставляют услуги, очень похожие на услуги дробных выделенных линий T1/E1, но только за существенно меньшую плату.

При использовании PVC сеть frame relay хорошо подходит для объединения локальных сетей с помощью мостов, так как в этом случае от моста не нужна поддержка механизма установления виртуального канала, что требует некоторого программного «интеллекта». Мост может отправлять кадры протокола Ethernet или FDDI непосредственно в кадрах LAP-F или же может использовать поверх протокола LAP-F протокол PPP. Стандарт Internet RFC 1490 определяет формат заголовка SNAP для случая передачи через сеть frame relay непосредственно кадров канального уровня.

Чаще доступ к сетям frame relay реализуют не удаленные мосты, а маршрутизаторы, которые в случае поддержки на последовательных портах протокола frame relay как основного называют устройствами доступа FRAD (хотя и мост, и любое устройство, которое поддерживает протоколы UNI frame relay, относятся к классу FRAD).

Так как сети frame relay передают кадры с небольшими задержками, с их помощью часто передают трафик сетей SNA, особенно в том случае, когда они используют такие чувствительные к задержкам протоколы, как SDLC (фирменный протокол канального уровня компании IBM).

Виртуальные каналы в качестве основы построения корпоративной сети имеют один недостаток - при большом количестве точек доступа и смешанном характере связей необходимо большое количество виртуальных каналов, каждый из которых оплачивается отдельно. В сетях с маршрутизацией отдельных пакетов, таких как TCP/IP, абонент платит только за количество точек доступа, а не за количество связей между ними.

#### **6.4.4. Технология АТМ**

Гетерогенность - неотъемлемое качество любой крупной вычислительной сети, и на согласование разнородных компонентов системные интеграторы и администраторы тратят большую часть своего времени. Поэтому любое средство, сулящее перспективу уменьшения неоднородности сети, привлекает пристальный интерес сетевых специалистов. Технология *асинхронного режима передачи (Asynchronous Transfer Mode, АТМ)* разработана как единый универсальный транспорт для нового поколения сетей с интеграцией услуг, которые называются широкополосными сетями ISDN (Broadband-ISDN, B-ISDN).

По планам разработчиков единообразие, обеспечиваемое АТМ, будет состоять в том, что одна транспортная технология сможет обеспечить несколько перечисленных ниже возможностей.

- Передачу в рамках одной транспортной системы компьютерного и мультимедийного (голос, видео) трафика, чувствительного к задержкам, причем для каждого вида трафика качество обслуживания будет соответствовать его потребностям.
- Иерархию скоростей передачи данных, от десятков мегабит до нескольких гига-бит в секунду с гарантированной пропускной способностью для ответственных приложений.
- Общие транспортные протоколы для локальных и глобальных сетей.
- Сохранение имеющейся инфраструктуры физических каналов или физических протоколов: T1/E1, T3/E3, SDH STM-n, FDDI.
- Взаимодействие с унаследованными протоколами локальных и глобальных сетей: IP, SNA, Ethernet, ISDN.

Главная идея технологии асинхронного режима передачи была высказана достаточно давно - этот термин ввела лаборатория Bell Labs еще в 1968 году. Основной разрабатываемой технологией тогда была технология TDM с синхронными методами коммутации, основанными на порядковом номере байта в объединенном кадре. Главный недостаток технологии TDM, которую также называют технологией синхронной передачи STM (Synchronous Transfer Mode), заключается в невозможности перераспределять пропускную способность объединенного канала между подканалами. В те периоды времени, когда по подканалу не передаются пользовательские данные, объединенный канал все равно передает байты этого подканала, заполненные нулями.

Попытки загрузить периоды простоя подканалов приводят к необходимости введения заголовка для данных каждого подканала. В промежуточной технологии STDM (Statistical TDM), которая позволяет заполнять периоды простоя передачей пульсаций трафика других подканалов, действительно вводятся заголовки, содержащие номер подканала. Данные при этом оформляются в пакеты, похожие по структуре на пакеты компьютерных сетей. Наличие адреса у каждого пакета позволяет передавать его асинхронно, так как местоположение его относительно данных других подканалов уже не является его адресом. Асинхронные пакеты одного подканала вставляются в свободные тайм - слоты другого подканала, но не смешиваются с данными этого подканала, так как имеют собственный адрес.

Технология ATM совмещает в себе подходы двух технологий - коммутации пакетов и коммутации каналов. От первой она взяла на вооружение передачу данных в виде адресуемых пакетов, а от второй - использование пакетов небольшого фиксированного размера, в результате чего задержки в сети становятся более предсказуемыми. С помощью техники виртуальных каналов, предварительного заказа параметров качества обслуживания канала и приоритетного обслуживания виртуальных каналов с разным качеством обслуживания удастся добиться передачи в одной сети разных типов трафика без дискриминации. Хотя сети ISDN также разрабатывались для передачи различных видов трафика в рамках одной сети, голосовой трафик явно был для разработчиков более приоритетным. Технология ATM с самого начала разрабатывалась как технология, способная обслуживать все виды трафика в соответствии с их требованиями.

Службы верхних уровней сети B-ISDN должны быть примерно такими же, что и у сети ISDN - это передача факсов, распространение телевизионного изображения, голосовая почта, электронная почта, различные интерактивные службы, например проведение видеоконференций. Высокие скорости технологии ATM создают гораздо больше возможностей для служб верхнего уровня, которые не могли быть реализованы сетями

ISDN - например, для передачи цветного телевизионного изображения необходима полоса пропускания в районе 30 Мбит/с. Технология ISDN такую скорость поддержать не может, а для АТМ она не составляет больших проблем.

Разработку стандартов АТМ осуществляет группа организаций под названием АТМ Forum под эгидой специального комитета IEEE, а также комитеты ITU-T и ANSI. АТМ - это очень сложная технология, требующая стандартизации в самых различных аспектах, поэтому, хотя основное ядро стандартов было принято в 1993 году, работа по стандартизации активно продолжается. Оптимизм внушает тот факт, что в АТМ Forum принимают участие практически все заинтересованные стороны - производители телекоммуникационного оборудования, производители оборудования локальных сетей, операторы телекоммуникационных сетей и сетевые интеграторы. До широкого распространения технологии АТМ по оценкам специалистов должно пройти еще 5-10 лет. Такой прогноз связан не только с отсутствием полного набора принятых стандартов, но и с невозможностью быстрой замены уже установленного дорогого оборудования, которое хотя и не так хорошо, как хотелось бы, но все же справляется со своими обязанностями. Кроме того, многое еще нужно сделать в области стандартизации взаимодействия АТМ с существующими сетями, как компьютерными, так и телефонными.

### **Основные принципы технологии АТМ**

Сеть АТМ имеет классическую структуру крупной территориальной сети - конечные станции соединяются индивидуальными каналами с коммутаторами нижнего уровня, которые в свою очередь соединяются с коммутаторами более высоких уровней. Коммутаторы АТМ пользуются 20-байтными адресами конечных узлов для маршрутизации трафика на основе техники виртуальных каналов. Для частных сетей АТМ определен протокол маршрутизации PNNI (Private NNI), с помощью которого коммутаторы могут строить таблицы маршрутизации автоматически. В публичных сетях АТМ таблицы маршрутизации могут строиться администраторами вручную, как и в сетях X.25, или могут поддерживаться протоколом PNNI.

Коммутация пакетов происходит на основе идентификатора виртуального канала (Virtual Channel Identifier, VCI), который назначается соединению при его установлении и уничтожается при разрыве соединения. Адрес конечного узла АТМ, на основе которого прокладывается виртуальный канал, имеет иерархическую структуру, подобную номеру в телефонной сети, и использует префиксы, соответствующие кодам стран, городов, сетям поставщиков услуг и т. п., что упрощает маршрутизацию запросов установления соединения, как и при использовании агрегированных IP-адресов в соответствии с техникой CIDR.

Виртуальные соединения могут быть постоянными (Permanent Virtual Circuit, PVC) и коммутируемыми (Switched Virtual Circuit, SVC). Для ускорения коммутации в больших сетях используется понятие виртуального пути - Virtual Path, который объединяет виртуальные каналы, имеющие в сети АТМ общий маршрут между исходным и конечным узлами или общую часть маршрута между некоторыми двумя коммутаторами сети. Идентификатор виртуального пути (Virtual Path Identifier, VPI) является старшей частью локального адреса и представляет собой общий префикс для некоторого количества различных виртуальных каналов. Таким образом, идея агрегирования адресов в технологии АТМ применена на двух уровнях - на уровне адресов конечных узлов (работает на стадии установления виртуального канала) и на уровне номеров виртуальных каналов (работает при передаче данных по имеющемуся виртуальному каналу).

Соединения конечной станции АТМ с коммутатором нижнего уровня определяются стандартом UNI (User Network Interface). Спецификация UNI определяет структуру пакета, адресацию станций, обмен управляющей информацией, уровни протокола АТМ, способы установления виртуального канала и способы управления трафиком. В настоящее время принята версия UNI 4.0, но наиболее распространенной версией, поддерживаемой производителями оборудования, является версия UNI 3.1.

Стандарт АТМ не вводит свои спецификации на реализацию физического уровня. Здесь он основывается на технологии SDH/SONET, принимая ее иерархию скоростей. В соответствии с этим начальная скорость доступа пользователя сети - это скорость OC-3 155 Мбит/с. Организация АТМ Forum определила для АТМ не все иерархии скоростей SDH, а только скорости OC-3 и OC-12 (622 Мбит/с). На скорости 155 Мбит/с можно использовать не только волоконно-оптический кабель, но и неэкранированную витую пару категории 5. На скорости 622 Мбит/с допустим только волоконно-оптический кабель, причем как SMF, так и MMF.

Имеются и другие физические интерфейсы к сетям АТМ, отличные от SDH/SONET. К ним относятся интерфейсы T1/E1 и T3/E3, распространенные в глобальных сетях, и интерфейсы локальных сетей - интерфейс с кодировкой 4B/5B со скоростью 100 Мбит/с (FDDI) и интерфейс со скоростью 25 Мбит/с, предложенный компанией IBM и утвержденный АТМ Forum. Кроме того, для скорости 155,52 Мбит/с определен так называемый «cell-based» физический уровень, то есть уровень, основанный на ячейках, а не на кадрах SDH/SONET. Этот вариант физического уровня не использует кадры SDH/SONET, а отправляет по каналу связи непосредственно ячейки формата АТМ, что сокращает накладные расходы на служебные данные, но несколько усложняет задачу синхронизации приемника с передатчиком на уровне ячеек.

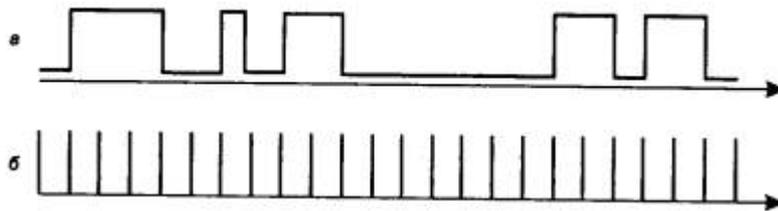
Все перечисленные выше характеристики технологии АТМ не свидетельствуют о том, что это некая «особенная» технология, а скорее представляют ее как типичную технологию глобальных сетей, основанную на технике виртуальных каналов. Особенности же технологии АТМ лежат в области качественного обслуживания разнородного трафика и объясняются стремлением решить задачу совмещения в одних и тех же каналах связи и в одном и том же коммуникационном оборудовании компьютерного и мультимедийного трафика таким образом, чтобы каждый тип трафика получил требуемый уровень обслуживания и не рассматривался как «второстепенный».

Трафик вычислительных сетей имеет ярко выраженный асинхронный и пульсирующий характер. Компьютер посылает пакеты в сеть в случайные моменты времени, по мере возникновения в этом необходимости. При этом интенсивность посылки пакетов в сеть и их размер могут изменяться в широких пределах - например, коэффициент пульсаций трафика (отношения максимальной мгновенной интенсивности трафика к его средней интенсивности) протоколов без установления соединений может достигать до 200, а протоколов с установлением соединений - до 20. Чувствительность компьютерного трафика к потерям данных высокая, так как без утраченных данных обойтись нельзя и их необходимо восстановить за счет повторной передачи.

Мультимедийный трафик, передающий, например, голос или изображение, характеризуется низким коэффициентом пульсаций, высокой чувствительностью к задержкам передачи данных (отражающихся на качестве воспроизводимого непрерывного сигнала) и низкой чувствительностью к потерям данных (из-за инерционности физических

процессов потерю отдельных замеров голоса или кадров изображения можно компенсировать сглаживанием на основе предыдущих и последующих значений).

Сложность совмещения компьютерного и мультимедийного трафика с диаметрально противоположными характеристиками хорошо видна на рис. 6.29.



**Рис. 6.29.** Два типа трафика: а - компьютерный; б- мультимедийный

На возможности совмещения этих двух видов трафика большое влияние оказывает размер компьютерных пакетов. Если размер пакета может меняться в широком диапазоне (например, от 29 до 4500 байт, как в технологии FDDI), то даже при придании голосовым пакетам высшего приоритета обслуживания в коммутаторах время ожидания компьютерного пакета может оказаться недопустимо высоким. Например, пакет в 4500 байт будет передаваться в выходной порт на скорости 2 Мбит/с (максимальная скорость работы порта коммутатора frame relay) 18 мс. При совмещении трафика за это время необходимо через этот же порт передать 144 замера голоса. Прерывать передачу пакета в сетях нежелательно, так как при распределенном характере сети накладные расходы на оповещение соседнего коммутатора о прерывании пакета, а потом - о возобновлении передачи пакета с прерванного места оказываются слишком большими.

Подход, реализованный в технологии АТМ, состоит в передаче любого вида трафика - компьютерного, телефонного или видео - пакетами фиксированной и очень маленькой длины в 53 байта. Пакеты АТМ называют ячейками - cell. Поле данных ячейки занимает 48 байт, а заголовок - 5 байт.

Чтобы пакеты содержали адрес узла назначения и в то же время процент служебной информации не превышал размер поля данных пакета, в технологии АТМ применен стандартный для глобальных вычислительных сетей прием - передача ячеек в соответствии с техникой виртуальных каналов с длиной номера виртуального канала в 24 бит, что вполне достаточно для обслуживания большого количества виртуальных соединений каждым портом коммутатора глобальной (может быть всемирной) сети АТМ.

Размер ячейки АТМ является результатом компромисса между телефонистами и компьютерщиками - первые настаивали на размере поля данных в 32 байта, а вторые - в 64 байта.

Чем меньше пакет, тем легче имитировать услуги каналов с постоянной битовой скоростью, которая характерна для телефонных сетей. Ясно, что при отказе от жестко синхронизированных временных слотов для каждого канала идеальной синхронности добиться будет невозможно, однако чем меньше размер пакета, тем легче этого достичь.

Для пакета, состоящего из 53 байт, при скорости в 155 Мбит/с время передачи кадра на выходной порт составляет менее 3 мкс. Так что эта задержка не очень существенна для трафика, пакеты которого должны передаваться каждые 125 мкс.

Однако на выбор размера ячейки большее влияние оказала не величина ожидания передачи ячейки, а задержка пакетизации. *Задержка пакетизации* - это время, в течение которого первый замер голоса ждет момента окончательного формирования пакета и отправки его по сети. При размере поля данных в 48 байт одна ячейка АТМ обычно переносит 48 замеров голоса, которые делаются с интервалом в 125 мкс. Поэтому первый замер должен ждать примерно 6 мс, прежде чем ячейка будет отправлена по сети. Именно по этой причине телефонисты боролись за уменьшения размера ячейки, так как 6 мс - это задержка, близкая к пределу, за которым начинаются нарушения качества передачи голоса. При выборе размера ячейки в 32 байта задержка пакетизации составила бы 4 мс, что гарантировало бы более качественную передачу голоса. А стремление компьютерных специалистов увеличить поле данных до 64 байт вполне понятно - при этом повышается полезная скорость передачи данных. Избыточность служебных данных при использовании 48-байтного поля данных составляет 10 %, а при использовании 32-байтного поля данных она сразу повышается до 16 %.

Выбор для передачи данных любого типа небольшой ячейки фиксированного размера еще не решает задачу совмещения разнородного трафика в одной сети, а только создает предпосылки для ее решения. Для полного решения этой задачи технология АТМ привлекает и развивает идеи *заказа пропускной способности и качества обслуживания*, реализованные в технологии frame relay. Но если сеть frame relay изначально была предназначена для передачи только пульсирующего компьютерного трафика (в связи с этим для сетей frame relay так трудно дается стандартизация передачи голоса), то разработчики технологии АТМ проанализировали всевозможные образцы трафика, создаваемые различными приложениями, и выделили 4 основных класса трафика, для которых разработали различные механизмы резервирования и поддержания требуемого качества обслуживания.

Класс трафика (называемый также классом услуг - service class) качественно характеризует требуемые услуги по передаче данных через сеть АТМ. Если приложение указывает сети, что требуется, например, передача голосового трафика, то из этого становится ясно, что особенно важными для пользователя будут такие показатели качества обслуживания, как задержки и вариации задержек ячеек, существенно влияющие на качество переданной информации - голоса или изображения, а потеря отдельной ячейки с несколькими замерами не так уж важна, так как, например, воспроизводящее голос устройство может аппроксимировать недостающие замеры и качество пострадает не слишком. Требования к синхронности передаваемых данных очень важны для многих приложений - не только голоса, но и видеоизображения, и наличие этих требований стало первым критерием для деления трафика на классы.

Другим важным параметром трафика, существенно влияющим на способ его передачи через сеть, является величина его пульсаций. Разработчики технологии АТМ решили выделить два различных типа трафика в отношении этого параметра - трафик с постоянной битовой скоростью (Constant Bit Rate, CBR) и трафик с переменной битовой скоростью (Variable Bit Rate, VBR).

К разным классам были отнесены трафики, порождаемые приложениями, использующими для обмена сообщениями протоколы с установлением соединений и без установления соединений. В первом случае данные передаются самим приложением достаточно надежно, как это обычно делают протоколы с установлением соединения, поэтому от сети АТМ высокой надежности передачи не требуется. А во втором случае приложение работает без установления соединения и восстановлением потерянных и искаженных

данных не занимается, что предъявляет повышенные требования к надежности передачи ячеек сетью АТМ.

В результате было определено пять классов трафика, отличающихся следующими качественными характеристиками:

- наличием или отсутствием пульсации трафика, то есть трафики CBR или VBR;
- требованием к синхронизации данных между передающей и принимающей сторонами;
- типом протокола, передающего свои данные через сеть АТМ, - с установлением соединения или без установления соединения (только для случая передачи компьютерных данных). Основные характеристики классов трафика АТМ приведены в табл. 6.4.

**Таблица 6.4.** Классы трафика АТМ

Класс трафика	Характеристика
A	Постоянная битовая скорость — Constant Bit Rate, CBR. Требуются временные соотношения между передаваемыми и принимаемыми данными. С установлением соединения. Примеры: голосовой трафик, трафик телевизионного изображения
B	Переменная битовая скорость — Variable Bit Rate, VBR. Требуются временные соотношения между передаваемыми и принимаемыми данными. С установлением соединения. Примеры: компрессированный голос, компрессированное видеозображение
C	Переменная битовая скорость — Variable Bit Rate, VBR. Не требуются временные соотношения между передаваемыми и принимаемыми данными. С установлением соединения. Примеры: трафик компьютерных сетей, в которых конечные узлы работают по протоколам с установлением соединений: frame relay, X.25, LLC2, TCP
D	Переменная битовая скорость — Variable Bit Rate, VBR. Не требуются временные соотношения между передаваемыми и принимаемыми данными. Без установления соединения. Примеры: трафик компьютерных сетей, в которых конечные узлы работают по протоколам без установления соединений (IP, Ethernet, DNS, SNMP)
X	Тип трафика и его параметры определяются пользователем

Очевидно, что только качественных характеристик, задаваемых классом трафика, для описания требуемых услуг оказывается недостаточно. В технологии АТМ для каждого класса трафика определен набор количественных параметров, которые приложение должно задать. Например, для трафика класса А необходимо указать постоянную скорость, с которой приложение будет посылать данные в сеть, а для трафика класса В - максимально возможную скорость, среднюю скорость и максимально возможную пульсацию. Для голосового трафика можно не только указать на важность синхронизации между передатчиком и приемником, но и количественно задать верхние границы задержки и вариации задержки ячеек.

В технологии АТМ поддерживается следующий набор основных количественных параметров:

- Peak Cell Rate (PCR) - максимальная скорость передачи данных;
- Sustained Cell Rate (SCR) - средняя скорость передачи данных;

- Minimum Cell Rate (MCR) - минимальная скорость передачи данных;
- Maximum Burst Size (MBS) - максимальный размер пульсации;
- Cell Loss Ratio (CLR) - доля потерянных ячеек;
- Cell Transfer Delay (CTD) - задержка передачи ячеек;
- Cell Delay Variation (CDV) - вариация задержки ячеек.

Параметры скорости измеряются в ячейках в секунду, максимальный размер пульсации - в ячейках, а временные параметры - в секундах. Максимальный размер пульсации задает количество ячеек, которое приложение может передать с максимальной скоростью PCR, если задана средняя скорость. Доля потерянных ячеек является отношением потерянных ячеек к общему количеству отправленных ячеек по данному виртуальному соединению. Так как виртуальные соединения являются дуплексными, то для каждого направления соединения могут быть заданы разные значения параметров.

В технологии АТМ принят не совсем традиционный подход к трактовке термина «качество обслуживания» - QoS. Обычно качество обслуживания трафика характеризуется параметрами пропускной способности (здесь это RCR, SCR, MCR, MBS), параметрами задержек пакетов (CTD и CDV), а также параметрами надежности передачи пакетов (CLR). В АТМ характеристики пропускной способности называют *параметрами трафика* и не включают их в число параметров качества обслуживания QoS, хотя по существу они таковыми являются. Параметрами QoS в АТМ являются только параметры CTD, CDV и CLR. Сеть старается обеспечить такой уровень услуг, чтобы поддерживались требуемые значения и параметров трафика, и задержек ячеек, и доли потерянных ячеек.

Соглашение между приложением и сетью АТМ называется трафик - контрактом. Основным его отличием от соглашений, применяемых в сетях frame relay, является выбор одного из нескольких определенных классов трафика, для которого наряду с параметрами пропускной способности трафика могут указываться параметры задержек ячеек, а также параметр надежности доставки ячеек. В сети frame relay класс трафика один, и он характеризуется только параметрами пропускной способности.

Необходимо подчеркнуть, что задание только параметров трафика (вместе с параметрами QoS) часто не полностью характеризует требуемую услугу, поэтому задание класса трафика полезно для уточнения нужного характера обслуживания данного соединения сетью.

В некоторых случаях специфика приложения такова, что ее график не может быть отнесен к одному из четырех стандартных классов. Поэтому для этого случая введен еще один класс X, который не имеет никаких дополнительных описаний, а полностью определяется теми количественными параметрами трафика и QoS, которые оговариваются в трафик - контракте.

Если для приложения не критично поддержание параметров пропускной способности и QoS, то оно может отказаться от задания этих параметров, указав признак «Best Effort» в запросе на установление соединения. Такой тип трафика получил название трафика с неопределенной битовой скоростью - Unspecified Bit Rate, UBR.

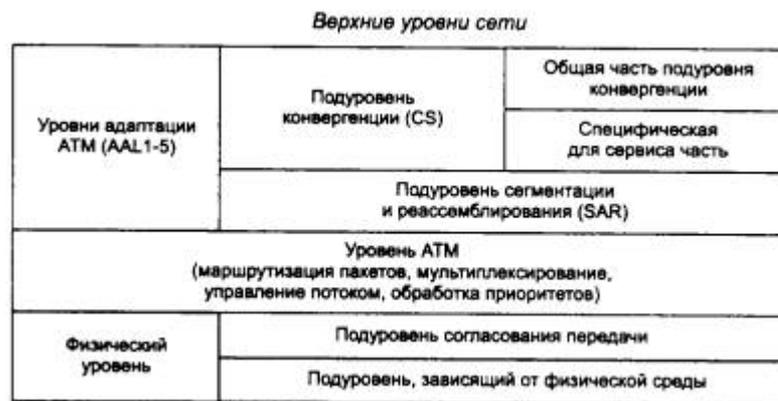
После заключения трафик - контракта, который относится к определенному виртуальному соединению, в сети АТМ работает несколько протоколов и служб, обеспечивающих нужное качество обслуживания. Для трафика UBR сеть выделяет ресурсы «по возможности», то есть те, которые в данный момент свободны от использования

виртуальными соединениями, заказавшими определенные параметры качества обслуживания.

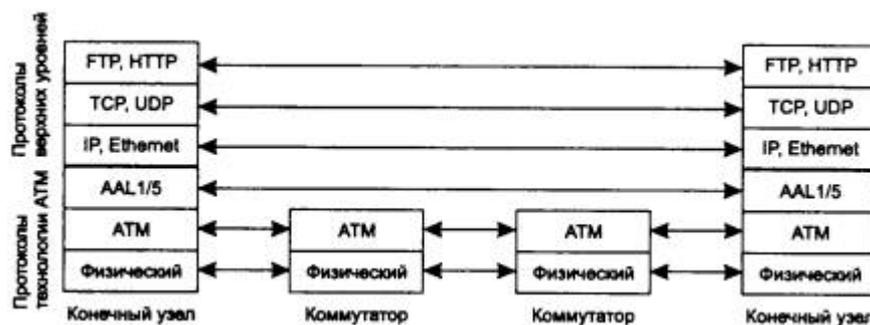
Технология АТМ изначально разрабатывалась для поддержки как постоянных, так и коммутируемых виртуальных каналов (в отличие от технологии frame relay, долгое время не поддерживающей коммутируемые виртуальные каналы). Автоматическое заключение трафик-контракта при установлении коммутируемого виртуального соединения представляет собой весьма непростую задачу, так как коммутаторам АТМ необходимо определить, смогут ли они в дальнейшем обеспечить передачу трафика данного виртуального канала наряду с трафиком других виртуальных каналов таким образом, чтобы выполнялись требования качества обслуживания каждого канала.

### Стек протоколов АТМ

Стек протоколов АТМ показан на рис 6.30, а распределение протоколов по конечным узлам и коммутаторам АТМ - на рис. 6.31.



**Рис. 6.30.** Структура стека протоколов АТМ



**Рис. 6.31.** Распределение протоколов по узлам и коммутаторам сети АТМ

Стек протоколов АТМ соответствует нижним уровням семиуровневой модели ISO/OSI и включает уровень адаптации АТМ, собственно уровень АТМ и физический уровень. Прямого соответствия между уровнями протоколов технологии АТМ и уровнями модели OSI нет.

### Уровень адаптации ААL

Уровень адаптации (ATM Adaptation Layer, AAL) представляет собой набор протоколов AAL1-AAL5, которые преобразуют сообщения протоколов верхних уровней сети ATM в ячейки ATM нужного формата. Функции этих уровней достаточно условно соответствуют функциям транспортного уровня модели OSI, например функциям протоколов TCP или UDP. Протоколы AAL при передаче пользовательского трафика работают только в конечных узлах сети (см. рис. 6.31), как и транспортные протоколы большинства технологий.

Каждый протокол уровня AAL обрабатывает пользовательский трафик определенного класса. На начальных этапах стандартизации каждому классу трафика соответствовал свой протокол AAL, который принимал в конечном узле пакеты от протокола верхнего уровня и заказывал с помощью соответствующего протокола нужные параметры трафика и качества обслуживания для данного виртуального канала. При развитии стандартов ATM такое однозначное соответствие между классами трафика и протоколами уровня AAL исчезло, и сегодня разрешается использовать для одного и того же класса трафика различные протоколы уровня AAL.

Уровень адаптации состоит из нескольких подуровней. Нижний подуровень AAL называется подуровнем сегментации и реассемблирования (Segmentation And Reassembly, SAR). Эта часть не зависит от типа протокола AAL (и, соответственно, от класса передаваемого трафика) и занимается разбиением (сегментацией) сообщения, принимаемого AAL от протокола верхнего уровня, на ячейки ATM, снабжением их соответствующим заголовком и передачей уровню ATM для отправки в сеть.

Верхний подуровень AAL называется подуровнем конвергенции - Convergence Sublayer, CS. Этот подуровень зависит от класса передаваемого трафика. Протокол подуровня конвергенции решает такие задачи, как, например, обеспечение временной синхронизации между передающим и принимающим узлами (для трафика, требующего такой синхронизации), контролем и возможным восстановлением битовых ошибок в пользовательской информации, контролем целостности передаваемого пакета компьютерного протокола (X.25, frame relay).

Протоколы AAL для выполнения своей работы используют служебную информацию, размещаемую в заголовках уровня AAL. После приема ячеек, пришедших по виртуальному каналу, подуровень SAR протокола AAL собирает посланное по сети исходное сообщение (которое в общем случае было разбито на несколько ячеек ATM) с помощью заголовков AAL, которые для коммутаторов ATM являются прозрачными, так как помещаются в 48-битном поле данных ячейки, как и полагается протоколу более высокого уровня. После сборки исходного сообщения протокол AAL проверяет служебные поля заголовка и концевого кадра AAL и на их основании принимает решение о корректности полученной информации.

Ни один из протоколов AAL при передаче пользовательских данных конечных узлов не занимается восстановлением потерянных или искаженных данных. Максимум, что делает протокол AAL, - это уведомляет конечный узел о таком событии. Так сделано для ускорения работы коммутаторов сети ATM в расчете на то, что случаи потерь или искажения данных будут редкими. Восстановление потерянных данных (или игнорирование этого события) отводится протоколам верхних уровней, не входящим в стек протоколов технологии ATM.

Протокол AAL1 обычно обслуживает трафик класса А с постоянной битовой скоростью (Constant Bit Rate, CBR), который характерен, например, для цифрового видео и цифровой речи и чувствителен к временным задержкам. Этот трафик передается в сетях АТМ таким образом, чтобы эмулировать обычные выделенные цифровые линии. Заголовок AAL1 занимает в поле данных ячейки АТМ 1 или 2 байта, оставляя для передачи пользовательских данных соответственно 47 или 46 байт. В заголовке один байт отводится для нумерации ячеек, чтобы приемная сторона могла судить о том, все ли посланные ячейки дошли до нее или нет. При отправке голосового трафика временная отметка каждого замера известна, так как они следуют друг за другом с интервалом в 125 мкс, поэтому при потере ячейки можно скорректировать временную привязку байт следующей ячейки, сдвинув ее на 125x46 мкс. Потеря нескольких байт замеров голоса не так страшна, так как на приемной стороне воспроизводящее оборудование сглаживает сигнал. В задачи протокола AAL1 входит сглаживание неравномерности поступления ячеек данных в узел назначения.

Протокол AAL2 был разработан для передачи трафика класса В, но при развитии стандартов он был исключен из стека протоколов АТМ, и сегодня трафик класса В передается с помощью протокола AAL1, AAL3/4 или AAL5.

Протокол AAL3/4 обрабатывает пульсирующий трафик - обычно характерный для трафика локальных сетей - с переменной битовой скоростью (Variable Bit Rate, VBR). Этот трафик обрабатывается так, чтобы не допустить потерь ячеек, но ячейки могут задерживаться коммутатором. Протокол AAL3/4 выполняет сложную процедуру контроля ошибок при передаче ячеек, нумеруя каждую составляющую часть исходного сообщения и снабжая каждую ячейку контрольной суммой. Правда, при искажениях или потерях ячеек уровень не занимается их восстановлением, а просто отбрасывает все сообщение - то есть все оставшиеся ячейки, так как для компьютерного трафика или компрессированного голоса потеря части данных является фатальной ошибкой. Протокол AAL3/4 образовался в результате слияния протоколов AAL3 и AAL4, которые обеспечивали поддержку трафика компьютерных сетей соответственно с установлением соединения и без установления соединения. Однако ввиду большой близости используемых форматов служебных заголовков и логики работы протоколы AAL3 и AAL4 были впоследствии объединены.

Протокол AAL5 является упрощенным вариантом протокола AAL4 и работает быстрее, так как вычисляет контрольную сумму не для каждой ячейки сообщения, а для всего исходного сообщения в целом и помещает ее в последнюю ячейку сообщения. Первоначально протокол AAL5 разрабатывался для передачи кадров сетей frame relay, но теперь он чаще всего используется для передачи любого компьютерного трафика. Протокол AAL5 может поддерживать различные параметры качества обслуживания, кроме тех, которые связаны с синхронизацией передающей и принимающей сторон. Поэтому он обычно используется для поддержки всех классов трафика, относящегося к передаче компьютерных данных, то есть классов С и D. Некоторые производители оборудования с помощью протокола AAL5 обслуживают трафик CBR, оставляя задачу синхронизации трафика протоколам верхнего уровня.

Протокол AAL5 работает не только в конечных узлах, но и в коммутаторах сети АТМ. Однако там он выполняет служебные функции, не связанные с передачей пользовательских данных. В коммутаторах АТМ, протокол AAL5 поддерживает служебные протоколы более высоких уровней, занимающиеся установлением коммутируемых виртуальных соединений.

Существует определенный интерфейс между приложением, которому требуется передать трафик через сеть АТМ, и уровнем адаптации ААL. С помощью этого интерфейса приложение (протокол компьютерной сети, модуль оцифровывания голоса) заказывает требуемую услугу, определяя тип трафика, его параметры, а также параметры QoS. Технология АТМ допускает два варианта определения параметров QoS: первый - непосредственное задание их каждым приложением, второй - назначение их по умолчанию в зависимости от типа трафика. Последний способ упрощает задачу разработчика приложения, так как в этом случае выбор максимальных значений задержки доставки ячеек и вариации задержек перекладывается на плечи администратора сети.

Самостоятельно обеспечить требуемые параметры трафика и QoS протоколы ААL не могут. Для выполнения соглашений трафик - контракта требуется согласованная работа коммутаторов сети вдоль всего виртуального соединения. Эта работа выполняется протоколом АТМ, обеспечивающим передачу ячеек различных виртуальных соединений с заданным уровнем качества обслуживания.

### Протокол АТМ

Протокол АТМ занимает в стеке протоколов АТМ примерно то же место, что протокол IP в стеке TCP/IP или протокол LAR-F в стеке протоколов технологии frame relay. Протокол АТМ занимается передачей ячеек через коммутаторы при установленном и настроенном виртуальном соединении, то есть на основании готовых таблиц коммутации портов. Протокол АТМ выполняет коммутацию по номеру виртуального соединения, который в технологии АТМ разбит на две части - *идентификатор виртуального пути (Virtual Path Identifier, VPI)* и *идентификатор виртуального канала (Virtual Channel Identifier, VCI)*. Кроме этой основной задачи протокол АТМ выполняет ряд функций по контролю за соблюдением трафик - контракта со стороны пользователя сети, маркировке ячеек-нарушителей, отбрасыванию ячеек-нарушителей при перегрузке сети, а также управлению потоком ячеек для повышения производительности сети (естественно, при соблюдении условий трафик - контракта для всех виртуальных соединений).

Протокол АТМ работает с ячейками следующего формата, представленного на рис. 6.32.



**Рис. 6.32.** Формат ячейки АТМ

Поле *Управление потоком (Generic Flow Control)* используется только при взаимодействии конечного узла и первого коммутатора сети. В настоящее время его точные функции не определены.

Поля *Идентификатор виртуального пути (Virtual Path Identifier, VPI)* и *Идентификатор виртуального канала (Virtual Channel Identifier, VCI)* занимают соответственно 1 и 2 байта. Эти поля задают номер виртуального соединения, разделенный на старшую (VPI) и младшую (VCI) части.

Поле *Идентификатор типа данных (Payload Type Identifier, PTI)* состоит из 3-х бит и задает тип данных, переносимых ячейкой, - пользовательские или управляющие (например, управляющие установлением виртуального соединения). Кроме того, один бит этого поля используется для указания перегрузки в сети - он называется *Explicit Congestion Forward Identifier, EFCI* - и играет ту же роль, что бит FECN в технологии frame relay, то есть передает информацию о перегрузке по направлению потока данных.

Поле *Приоритет потери кадра (Cell Loss Priority, CLP)* играет в данной технологии ту же роль, что и поле DE в технологии frame relay - в нем коммутаторы ATM отмечают ячейки, которые нарушают соглашения о параметрах качества обслуживания, чтобы удалить их при перегрузках сети. Таким образом, ячейки с CLP=0 являются для сети высокоприоритетными, а ячейки с CLP=1 - низкоприоритетными.

Поле *Управление ошибками в заголовке (Header Error Control, HEC)* содержит контрольную сумму, вычисленную для заголовка ячейки. Контрольная сумма вычисляется с помощью техники корректирующих кодов Хэмминга, поэтому она позволяет не только обнаруживать ошибки, но и исправлять все одиночные ошибки, а также некоторые двойные. Поле HEC обеспечивает не только обнаружение и исправление ошибок в заголовке, но и нахождение границы начала кадра в потоке байтов кадров SDH, которые являются предпочтительным физическим уровнем технологии ATM, или же в потоке бит физического уровня, основанного на ячейках. Указателей, позволяющих в поле данных кадра STS-n (STM-n) технологии SONET/SDH обнаруживать границы ячеек ATM (подобных тем указателям, которые используются для определения, например, границ виртуальных контейнеров подканалов T1/E1), не существует. Поэтому коммутатор ATM вычисляет контрольную сумму для последовательности из 5 байт, находящихся в поле данных кадра STM-n, и, если вычисленная контрольная сумма говорит о корректности заголовка ячейки ATM, первый байт становится границей ячейки. Если же это не так, то происходит сдвиг на один байт и операция продолжается. Таким образом, технология ATM выделяет асинхронный поток ячеек ATM в синхронных кадрах SDH или потоке бит физического уровня, основанного на ячейках.

Рассмотрим методы коммутации ячеек ATM на основе пары чисел VPI/VCI. Коммутаторы ATM могут работать в двух режимах - коммутации виртуального пути и коммутации виртуального канала. В первом режиме коммутатор выполняет продвижение ячейки только на основании значения поля VPI, а значение поля VCI он игнорирует. Обычно так работают магистральные коммутаторы территориальных сетей. Они доставляют ячейки из одной сети пользователя в другую на основании только старшей части номера виртуального канала, что соответствует идее агрегирования адресов. В результате один виртуальный путь соответствует целому набору виртуальных каналов, коммутируемых как единое целое.

После доставки ячейки в локальную сеть АТМ ее коммутаторы начинают коммутировать ячейки с учетом как VPI, так и VCI, но при этом им хватает для коммутации только младшей части номера виртуального соединения, так что фактически они работают с VCI, оставляя VPI без изменения. Последний режим называется режимом коммутации виртуального канала.

Для создания коммутируемого виртуального канала в технологии АТМ используются протоколы, не показанные на рис. 6.30. Подход здесь аналогичен подходу в сети ISDN - для установления соединения разработан отдельный протокол Q.2931, который весьма условно можно отнести к сетевому уровню. Этот протокол во многом похож на протоколы Q.931 и Q.933 (даже номером), но в него внесены, естественно, изменения, связанные с наличием нескольких классов трафика и дополнительных параметров качества обслуживания. Протокол Q.2931 опирается на достаточно сложный протокол канального уровня SSCOP, который обеспечивает надежную передачу пакетов Q.2931 в своих кадрах. В свою очередь, протокол SSCOP работает поверх протокола AAL5, который необходим для разбиения кадров SSCOP на ячейки АТМ и сборки этих ячеек в кадры при доставке кадра SSCOP в коммутатор назначения.

---

**ПРИМЕЧАНИЕ** Протокол Q.2931 появился в стеке протоколов технологии АТМ после принятия версии интерфейса UNI 3.1, а до этого в версии UNI 3.0 вместо него использовался протокол Q.93B. Из-за несовместимости протоколов Q.2931 и Q.93B версии пользовательского интерфейса UNI 3.0 и UNI 3.1 также несовместимы. Версия UNI 4.0 обратно совместима с UNI 3.1, так как основана на тех же служебных протоколах, что и версия UNI 3.1.

---

Виртуальные соединения, образованные с помощью протокола Q.2931, бывают симплексными (однаправленными) и дуплексными.

Протокол Q.2931 позволяет также устанавливать виртуальные соединения типа «один-к-одному» (point-to-point) и «один-ко-многим» (point-to-multipoint). Первый случай поддерживается во всех технологиях, основанных на виртуальных каналах, а второй характерен для технологии АТМ и является аналогом мультивещания, но с одним ведущим вещающим узлом. При установлении соединения «один-ко-многим» ведущим считается узел, который является инициатором этого соединения. Сначала этот узел устанавливает виртуальное соединение всего с одним узлом, а затем добавляет к соединению с помощью специального вызова по одному новому члену. Ведущий узел становится вершиной дерева соединения, а остальные узлы - листьями этого дерева. Сообщения, которые посылает ведущий узел, принимают все листья соединения, но сообщения, которые посылает какой-либо лист (если соединение дуплексное), принимает только ведущий узел.

Пакеты протокола Q.2931, предназначенные для установления коммутируемого виртуального канала, имеют те же названия и назначение, что и пакеты протокола Q.933, рассмотренные выше при изучении технологии frame relay, но структура их полей, естественно, другая.

Адресом конечного узла в коммутаторах АТМ является 20-байтный адрес. Этот адрес может иметь различный формат, описываемый стандартом ISO 7498. При работе в публичных сетях используется адрес стандарта E.164, при этом 1 байт составляет AFI, 8 байт занимает IDI - основная часть адреса E.164 (15 цифр телефонного номера), а остальные 11 байт части DSP (Domain Specific Part) распределяются следующим образом.

- 4 байта занимает поле старшей части DSP - High-Order Domain Specific Part (HO-DSP), имеющее гибкий формат и, в сущности, представляющее собой номер сети АТМ, который может делиться на части для агрегированной маршрутизации по протоколу PNNI, подобной той, которая используется в технике CIDR для сетей IP.
- 6 байт занимает поле идентификатора конечной системы - End System Identifier (ESI), которое имеет смысл MAC - адреса узла АТМ, причем формат его также соответствует формату MAC - адресов IEEE.
- 1 байт составляет поле селектора, которое не используется при установлении виртуального канала, а имеет для узла локальное назначение.

При работе в частных сетях АТМ обычно применяется формат адреса, соответствующий домену международных организаций, причем в качестве международной организации выступает АТМ Forum. В этом случае поле IDI занимает 2 байта, которые содержат код АТМ Forum, данный ISO, а структура остальной части DSP соответствует описанной выше за исключением того, что поле HO-DSP занимает не 4, а 10 байт.

Адрес ESI присваивается конечному узлу на предприятии-изготовителе в соответствии с правилами IEEE, то есть 3 первых байта содержат код предприятия, а остальные три байта - порядковый номер, за уникальность которого отвечает данное предприятие.

Конечный узел при подключении к коммутатору АТМ выполняет так называемую процедуру регистрации. При этом конечный узел сообщает коммутатору свой ESI - адрес, а коммутатор сообщает конечному узлу старшую часть адреса, то есть номер сети, в которой работает узел.

Кроме адресной части пакет CALL SETUP протокола Q.2931, с помощью которого конечный узел запрашивает установление виртуального соединения, включает также части, описывающие параметры трафика и требования QoS. При поступлении такого пакета коммутатор должен проанализировать эти параметры и решить, достаточно ли у него свободных ресурсов производительности для обслуживания нового виртуального соединения. Если да, то новое виртуальное соединение принимается и коммутатор передает пакет CALL SETUP дальше в соответствии с адресом назначения и таблицей маршрутизации, а если нет, то запрос отвергается.

### **Категории услуг протокола АТМ и управление трафиком**

Для поддержания требуемого качества обслуживания различных виртуальных соединений и рационального использования ресурсов в сети на уровне протокола АТМ реализовано несколько служб, предоставляющих услуги различных категорий (service categories) по обслуживанию пользовательского трафика. Эти службы являются внутренними службами сети АТМ, они предназначены для поддержания пользовательского трафика различных классов совместно с протоколами AAL. Но в отличие от протоколов AAL, которые работают в конечных узлах сети, данные службы распределены по всем коммутаторам сети. Услуги этих служб разбиты на категории, которые в общем соответствуют классам трафика, поступающим на вход уровня AAL конечного узла. Услуги уровня АТМ

заказываются конечным узлом через интерфейс UNI с помощью протокола Q.2931 при установлении виртуального соединения. Как и при обращении к уровню AAL, при заказе услуги необходимо указать категорию услуги, а также параметры трафика и параметры QoS. Эти параметры берутся из аналогичных параметров уровня AAL или же определяются по умолчанию в зависимости от категории услуги.

Всего на уровне протокола ATM определено пять категорий услуг, которые поддерживаются одноименными службами:

- CBR - услуги для трафика с постоянной битовой скоростью;
- rtVBR - услуги для трафика с переменной битовой скоростью, требующего соблюдения средней скорости передачи данных и синхронизации источника и приемника;
- nrtVBR - услуги для трафика с переменной битовой скоростью, требующего соблюдения средней скорости передачи данных и не требующего синхронизации источника и приемника;
- ABR - услуги для трафика с переменной битовой скоростью, требующего соблюдения некоторой минимальной скорости передачи данных и не требующего синхронизации источника и приемника;
- UBR - услуги для трафика, не предъявляющего требований к скорости передачи данных и синхронизации источника и приемника.

Названия большинства категорий услуг совпадают с названием типов пользовательского трафика, для обслуживания которого они разработаны, но необходимо понимать, что сами службы уровня ATM и их услуги - это внутренние механизмы сети ATM, которые эмулируются от приложения уровнем AAL.

Услуги категории CBR предназначены для поддержания трафика синхронных приложений - голосового, эмуляции цифровых выделенных каналов и т. п. Когда приложение устанавливает соединение категории CBR, оно заказывает пиковую скорость трафика ячеек PCR, являющуюся максимальной скоростью, которую может поддерживать соединение без риска потерять ячейку, а также параметры QoS: величины максимальной задержки ячеек CTD, вариации задержки ячеек CDV и максимальной доли потерянных ячеек CLR.

Затем данные передаются по этому соединению с запрошенной скоростью - не с большей и, в большинстве случаев, не меньшей, хотя уменьшение скорости приложением возможно, например, при передаче компрессированного голоса с помощью услуги категории CBR. Любые ячейки, передаваемые станцией с большей скоростью, контролируются первым коммутатором сети и помечаются признаком CLP=1. При перегрузках сети они могут просто отбрасываться сетью. Ячейки, которые запаздывают и не укладываются в интервал, оговоренный параметром вариации задержки CDV, также считаются мало значащими для приложения и отмечаются признаком низкого приоритета CLP=1.

Для соединений CBR нет ограничений на некоторую дискретность заказа скорости PCR, как, например, в каналах T1/E1, где скорость должна быть кратна 64 Кбит/с.

По сравнению со службой CBR, службы VBR требуют более сложной процедуры заказа соединения между сетью и приложением. В дополнение к пиковой скорости PCR приложение VBR заказывает еще и два других параметра: длительно поддерживаемую

скорость - SCR, которая представляет собой среднюю скорость передачи данных, разрешенную приложению, а также максимальный размер пульсации - MBS, Максимальный размер пульсации измеряется в количестве ячеек ATM. Пользователь может превышать скорость вплоть до величины PCR, но только на короткие периоды времени, в течение которых передается объем данных, не превышающий MBS. Этот период времени называется Burst Tolerance, BT - терпимость к пульсации. Сеть вычисляет этот период как производный от трех заданных значений PCR, SCR и MBS.

Если скорость PCR наблюдается в течение периода времени, большего чем BT, то ячейки помечаются как нарушители - устанавливается признак CLP=1.

Для услуг категории rtVBR задаются и контролируются те же параметры QoS, что и для услуг категории CBR, а услуги категории nrtVBR ограничиваются поддержанием параметров трафика. Сеть также поддерживает для обеих категорий услуг VBR определенный максимальный уровень доли потерянных ячеек CLR, который либо задается явно при установлении соединения, либо назначается по умолчанию в зависимости от класса трафика.

Для контроля параметров трафика и QoS в технологии ATM применяется так называемый обобщенный алгоритм контроля скорости ячеек - Generic Cell Rate Algorithm, который может проверять соблюдение пользователем и сетью таких параметров, как PCR, CDV, SCR, BT, CTD и CDV. Он работает по модифицированному алгоритму «дырявого ведра», применяемому в технологии frame relay.

Для многих приложений, которые могут быть чрезвычайно «взрывными» в отношении интенсивности трафика, невозможно точно предсказать параметры трафика, оговариваемые при установлении соединения. Например, обработка транзакций или трафик двух взаимодействующих локальных сетей непредсказуемы по своей природе - изменения интенсивности трафика слишком велики, чтобы заключить с сетью какое-либо разумное соглашение.

В отличие от CBR и обеих служб VBR, служба UBR не поддерживает ни параметры трафика, ни параметры качества обслуживания. Служба UBR предлагает только доставку «по возможности» без каких-либо гарантий. Разработанная специально для обеспечения возможности превышения полосы пропускания, служба UBR представляет собой частичное решение для тех непредсказуемых «взрывных» приложений, которые не готовы согласиться с фиксацией параметров трафика.

Главными недостатками услуг UBR являются отсутствие управления потоком данных и неспособность принимать во внимание другие типы трафика. Несмотря на перегрузку сети, соединения UBR будут продолжать передачу данных. Коммутаторы сети могут буферизовать некоторые ячейки поступающего трафика, но в некоторый момент буферы переполняются, и ячейки теряются. А так как для соединений UBR не оговаривается никаких параметров трафика и QoS, то их ячейки отбрасываются в первую очередь.

Служба ABR подобно службе UBR предоставляет возможность превышения полосы пропускания, но благодаря технике управления трафиком при перегрузке сети она дает некоторые гарантии сохранности ячеек. ABR - это первый тип служб уровня ATM, который действительно обеспечивает надежный транспорт для пульсирующего трафика за счет того, что может находить неиспользуемые интервалы в общем трафике сети и заполнять их своими ячейками, если другим категориям служб эти интервалы не нужны.

Как и в службах CBR и VBR, при установлении соединения категории ABR оговаривается значение пиковой скорости PCR. Однако соглашение о пределах изменения задержки передачи ячеек или о параметрах пульсации не заключается.

Вместо этого сеть и конечный узел заключают соглашение о требуемой минимальной скорости передачи MCR. Это гарантирует приложению, работающему в конечном узле, небольшую пропускную способность, обычно минимально необходимую для того, чтобы приложение работало. Конечный узел соглашается не передавать данные со скоростью, выше пиковой, то есть PCR, а сеть соглашается всегда обеспечивать минимальную скорость передачи ячеек MCR.

Если при установлении соединения ABR не задаются значения максимальной и минимальной скорости, то по умолчанию считается, что PCR совпадает со скоростью линии доступа станции к сети, а MCR считается равной нулю.

Трафик соединения категории ABR получает гарантированное качество услуг в отношении доли потерянных ячеек и пропускной способности. Что касается задержек передачи ячеек, то хотя сеть и старается свести их к минимуму, но гарантий по этому параметру не дает. Следовательно, служба ABR не предназначена для приложений реального времени, а предназначена для приложений, в которых поток данных не очень чувствителен к задержкам в передаче.

При передаче трафика CBR, VBR и UBR явное управление перегрузками в сети отсутствует. Вместо этого используется механизм отбрасывания ячеек-нарушителей, а узлы, пользующиеся услугами CBR и VBR, стараются не нарушать условия контракта под угрозой потери ячеек, поэтому они обычно не пользуются дополнительной пропускной способностью, даже если она в данный момент доступна в сети.

Служба ABR позволяет воспользоваться резервами пропускной способности сети, так как сообщает конечному узлу о наличии в данный момент избыточной пропускной способности с помощью механизма обратной связи. Этот же механизм может помочь службе ABR снизить скорость передачи данных конечным узлом в сеть (вплоть до минимального значения MCR), если сеть испытывает перегрузку.

Узел, пользующийся услугами ABR, должен периодически посылать в сеть наряду с ячейками данных специальные служебные ячейки управления ресурсами - Resource Management, RM. Ячейки RM, которые узел отправляет вдоль потока данных, называются прямыми ячейками RM - Forward Resource Management (FRM), а ячейки, которые идут в обратном по отношению к потоку данных направлении, называются обратными ячейками RM - Backward Resource Management (BRM).

Существует несколько петель обратной связи. Самая простая петля обратной связи - между конечными станциями. При ее наличии коммутатор сети извещает конечную станцию о перегрузке с помощью специального флага в поле прямого управления перегрузками (флаг EFCI) ячейки данных, переносимой протоколом АТМ. Затем конечная станция посылает через сеть сообщение, содержащееся в специальной ячейке управления BRM исходной станции, говоря ей о необходимости уменьшить скорость посылки ячеек в сеть.

В этом способе конечная станция несет основную ответственность за управление потоком, а коммутаторы играют пассивную роль в петле обратной связи, только уведомляя станцию - отправитель о перегрузке.

Такой простой способ имеет несколько очевидных недостатков. Конечная станция не узнает из сообщения BRM, на какую величину нужно уменьшить скорость передачи данных в сеть. Поэтому она просто понизит скорость до минимальной величины MCR, хотя, возможно, это и не обязательно. Кроме того, при большой протяженности сети коммутаторы должны продолжать буферизовать данные все время, пока уведомление о перегрузке будет путешествовать по сети, а для глобальных сетей это время может быть достаточно большим, и буферы могут переполниться, так что требуемый эффект достигнут не будет.

Разработаны и более сложные схемы управления потоком, в которых коммутаторы играют более активную роль, а узел-отправитель узнает более точно о возможной в данный момент скорости отправки данных в сеть.

В первой схеме узел-источник посылает в ячейке FRM явное значение скорости передачи данных в сеть, которую он хотел бы поддерживать в данное время. Каждый коммутатор, через который проходит по виртуальному пути это сообщение, может уменьшить запрашиваемую скорость до некоторой величины, которую он может поддерживать в соответствии с имеющимися у него свободными ресурсами (или оставить запрашиваемую скорость без изменения). Узел назначения, получив ячейку FRM, превращает ее в ячейку BRM и отправляет в обратном направлении, причем он тоже может уменьшить запрашиваемую скорость. Получив ответ в ячейке BRM, узел-источник точно узнает, какая скорость отправки ячеек в сеть для него в данный момент доступна.

Во второй схеме каждый коммутатор сети может работать как узел-источник и узел назначения. Как узел-источник он может сам генерировать ячейки FRM и отправлять их по имеющимся виртуальным каналам. Как узел назначения он может отправлять на основе получаемых ячеек FRM ячейки BRM в обратном направлении. Такая схема является более быстросействующей и полезной в протяженных территориальных сетях.

Как видно из описания, служба ABR предназначена не только для прямого поддержания требований к обслуживанию конкретного виртуального соединения, но и для более рационального распределения ресурсов сети между ее абонентами, что в конечном итоге также приводит к повышению качества обслуживания всех абонентов сети.

Коммутаторы сети ATM используют различные механизмы для поддержания требуемого качества услуг. Кроме описанных в стандартах ITU-T и ATM Forum механизмов заключения соглашения на основе параметров трафика и параметров QoS, а затем отбрасывания ячеек, не удовлетворяющих условиям соглашения, практически все производители оборудования ATM реализуют в своих коммутаторах несколько очередей ячеек, обслуживаемых с различными приоритетами.

Стратегия приоритетного обслуживания трафика основана на категориях услуг каждого виртуального соединения. До принятия спецификации ABR в большинстве коммутаторов ATM была реализована простая одноуровневая схема обслуживания, которая давала трафику CBR первый приоритет, трафику VBR второй, а трафику UBR - третий. При такой схеме комбинация CBR и VBR может потенциально заморозить трафик, обслуживаемый другим классом служб. Такая схема не будет правильно работать с

трафиком ABR, так как не обеспечит его требования к минимальной скорости передачи ячеек. Для обеспечения этого требования должна быть выделена некоторая гарантированная полоса пропускания.

Чтобы поддерживать службу ABR, коммутаторы ATM должны реализовать двухуровневую схему обслуживания, которая бы удовлетворяла требованиям CBR, VBR и ABR. По этой схеме коммутатор предоставляет некоторую часть своей пропускной способности каждому классу служб. Трафик CBR получает часть пропускной способности, необходимую для поддержания пиковой скорости PCR, трафик VBR получает часть пропускной способности, необходимую для поддержания средней скорости SCR, а трафик ABR получает часть пропускной способности, достаточную для обеспечения требования минимальной скорости ячеек MCR. Это гарантирует, что каждое соединение может работать без потерь ячеек и не будет доставлять ячейки ABR за счет трафика CBR или VBR. На втором уровне этого алгоритма трафик CBR и VBR может забрать всю оставшуюся пропускную способность сети, если это необходимо, так как соединения ABR уже получили свою минимальную пропускную способность, которая им гарантировалась.

### **Передача трафика IP через сети ATM**

Технология ATM привлекает к себе общее внимание, так как претендует на роль всеобщего и очень гибкого транспорта, на основе которого строятся другие сети. И хотя технология ATM может использоваться непосредственно для транспортировки сообщений протоколов прикладного уровня, пока она чаще переносит пакеты других протоколов канального и сетевого уровней (Ethernet, IP, IPX, frame relay, X.25), сосуществуя с ними, а не полностью заменяя. Поэтому протоколы и спецификации, которые определяют способы взаимодействия технологии ATM с другими технологиями, очень важны для современных сетей. А так как протокол IP является на сегодня основным протоколом построения составных сетей, то стандарты работы IP через сети ATM являются стандартами, определяющими взаимодействие двух наиболее популярных технологий сегодняшнего дня.

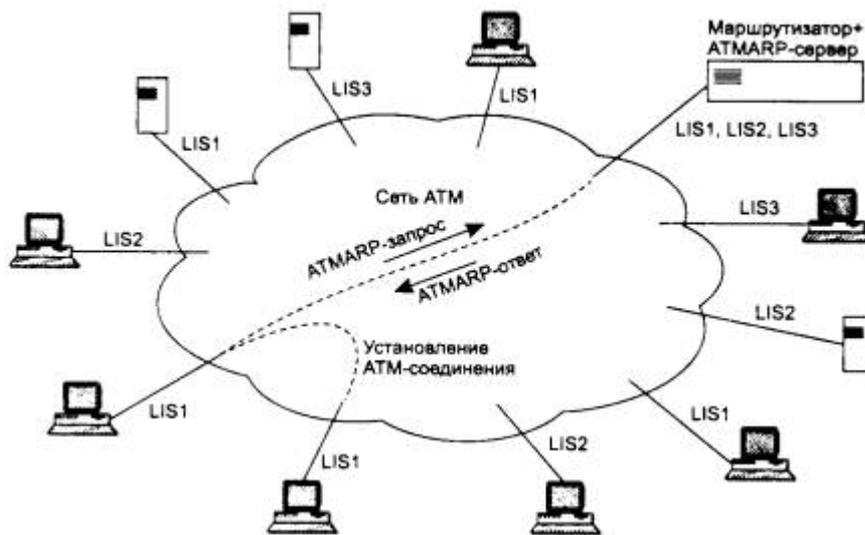
Протокол Classical IP (RFC 1577) является первым (по времени появления) протоколом, определившим способ работы интрасети IP в том случае, когда одна из промежуточных сетей работает по технологии ATM. Из-за классической концепции подсетей протокол и получил свое название - Classical.

Одной из основных задач, решаемых протоколом Classical IP, является традиционная для IP-сетей задача - поиск локального адреса следующего маршрутизатора или конечного узла по его IP-адресу, то есть задача, возлагаемая в локальных сетях на протокол ARP. Поскольку сеть ATM не поддерживает широковещательность, традиционный для локальных сетей способ широковещательных ARP-запросов здесь не работает. Технология ATM, конечно, не единственная технология, в которой возникает такая проблема, - для обозначения таких технологий даже ввели специальный термин - «Нешироковещательные сети с множественным доступом» (Non-Broadcast networks with Multiple Access, NBMA). К сетям NBMA относятся, в частности, сети X.25 и frame relay.

В общем случае для нешироковещательных сетей стандарты TCP/IP определяют только ручной способ построения ARP-таблиц, однако для технологии ATM делается исключение - для нее разработана процедура автоматического отображения IP-адресов на локальные адреса. Такой особый подход к технологии ATM объясняется следующими

причинами. Сети NBMA (в том числе X.25 и frame relay) используются, как правило, как транзитные глобальные сети, к которым подключается ограниченное число маршрутизаторов, а для небольшого числа маршрутизаторов можно задать ARP-таблицу вручную. Технология ATM отличается тем, что она применяется для построения не только глобальных, но и локальных сетей. В последнем случае размерность ARP-таблицы, которая должна содержать записи и о пограничных маршрутизаторах, и о множестве конечных узлов, может быть очень большой. К тому же, для крупной локальной сети характерно постоянное изменение состава узлов, а значит, часто возникает необходимость в корректировке таблиц. Все это делает ручной вариант решения задачи отображения адресов для сетей ATM мало пригодным.

В соответствии со спецификацией Classical IP одна сеть ATM может быть представлена в виде нескольких IP-подсетей, так называемых логических подсетей (Logical IP Subnet, LIS) (рис. 6.33). Все узлы одной LIS имеют общий адрес сети. Как и в классической IP-сети, весь трафик между подсетями обязательно проходит через маршрутизатор, хотя и существует принципиальная возможность передавать его непосредственно через коммутаторы ATM, на которых построена сеть ATM. Маршрутизатор имеет интерфейсы во всех LIS, на которые разбита сеть ATM.



**Рис. 6.33.** Логические IP-подсети в сети ATM

---

**ПРИМЕЧАНИЕ** Подход спецификации Classical IP к подсетям напоминает технику виртуальных локальных сетей VLAN -там также вводятся ограничения на имеющуюся возможность связи через коммутаторы для узлов, принадлежащих разным VLAN.

---

В отличие от классических подсетей маршрутизатор может быть подключен к сети ATM одним физическим интерфейсом, которому присваивается несколько IP-адресов в соответствии с количеством LIS в сети.

Решение о введении логических подсетей связано с необходимостью обеспечения традиционного разделения большой сети ATM на независимые части, связность которых

контролируется маршрутизаторами, как к этому привыкли сетевые интеграторы и администраторы. Решение имеет и очевидный недостаток — маршрутизатор должен быть достаточно производительным для передачи высокоскоростного трафика АТМ между логическими подсетями, в противном случае он станет узким местом сети. В связи с повышенными требованиями по производительности, предъявляемыми сетями АТМ к маршрутизаторам, многие ведущие производители разрабатывают или уже разработали модели маршрутизаторов с общей производительностью в несколько десятков миллионов пакетов в секунду.

Все конечные узлы конфигурируются традиционным образом — для них задается их собственный IP-адрес, маска и IP-адрес маршрутизатора по умолчанию. Кроме того, задается еще один дополнительный параметр — адрес АТМ (или номер VPI/VCI для случая использования постоянного виртуального канала, то есть PVC) так называемого сервера АТМАРР. Введение центрального сервера, который поддерживает общую базу данных для всех узлов сети, — это типичный прием для работы через нешироковещательную сеть. Этот прием используется во многих протоколах, в частности в протоколе LAN Emulation, рассматриваемом далее.

Каждый узел использует адрес АТМ сервера АТМАРР, чтобы выполнить обычный запрос АРР. Этот запрос имеет формат, очень близкий к формату запроса протокола АРР из стека TCP/IP. Длина аппаратного адреса в нем определена в 20 байт, что соответствует длине адреса АТМ. В каждой логической подсети имеется свой сервер АТМАРР, так как узел может обращаться без посредничества маршрутизатора только к узлам своей подсети. Обычно роль сервера АТМАРР выполняет маршрутизатор, имеющий интерфейсы во всех логических подсетях.

При поступлении первого запроса АРР от конечного узла сервер сначала направляет ему встречный инверсный запрос АТМАРР, чтобы выяснить IP- и АТМ- адреса этого узла. Этим способом выполняется регистрация каждого узла в сервере АТМАРР, и сервер получает возможность автоматически строить базу данных соответствия IP- и АТМ - адресов. Затем сервер пытается выполнить запрос АТМАРР узла путем просмотра своей базы. Если искомым узел уже зарегистрировался в ней и он принадлежит той же логической подсети, что и запрашивающий узел, то сервер отправляет в качестве ответа запрашиваемый адрес. В противном случае дается негативный ответ (такой тип ответа в обычном широковещательном варианте протокола АРР не предусматривается).

Конечный узел, получив ответ АРР, узнает АТМ-адрес своего соседа по логической подсети и устанавливает с ним коммутируемое виртуальное соединение. Если же он запрашивал АТМ-адрес маршрутизатора по умолчанию, то он устанавливает с ним соединение, чтобы передать IP-пакет в другую сеть.

Для передачи IP-пакетов через сеть АТМ спецификация Classical IP определяет использование протокола уровня адаптации AAL5, при этом спецификация ничего не говорит ни о параметрах трафика и качества обслуживания, ни о требуемой категории услуг CBR, rtVBR, nrtVBR или UBR.

### **Сосуществование АТМ с традиционными технологиями локальных сетей**

Технология АТМ разрабатывалась сначала как «вещь в себе», без учета того факта, что в существующие технологии сделаны большие вложения и поэтому никто не станет сразу отказываться от установленного и работающего оборудования, даже если появляется

новое, более совершенное. Это обстоятельство оказалось не столь важным для территориальных сетей, которые в случае необходимости могли предоставить свои оптоволоконные каналы для построения сетей АТМ. Учитывая, что стоимость высокоскоростных оптоволоконных каналов, проложенных на большие расстояния, часто превышает стоимость остального сетевого оборудования, переход на новую технологию АТМ, связанный с заменой коммутаторов, во многих случаях оказывался экономически оправданным.

Для локальных сетей, в которых замена коммутаторов и сетевых адаптеров равнозначна созданию новой сети, переход на технологию АТМ мог быть вызван только весьма серьезными причинами. Гораздо привлекательнее полной замены существующей локальной сети новой сетью АТМ выглядела возможность «постепенного» внедрения технологии АТМ в существующую на предприятии сеть. При таком подходе фрагменты сети, работающие по новой технологии АТМ, могли бы мирно сосуществовать с другими частями сети, построенными на основе традиционных технологий, таких как Ethernet или FDDI, улучшая характеристики сети там, где это нужно, и оставляя сети рабочих групп или отделов в прежнем виде. Применение маршрутизаторов IP, реализующих протокол Classical IP, решает эту проблему, но такое решение не всегда устраивает предприятия, пользующиеся услугами локальных сетей, так как, во-первых, требуется обязательная поддержка протокола IP во всех узлах локальных сетей, а во-вторых, требуется установка некоторого количества маршрутизаторов, что также не всегда приемлемо. Отчетливо ощущалась необходимость способа согласования технологии АТМ с технологиями локальных сетей без привлечения сетевого уровня.

В ответ на такую потребность АТМ Forum разработал спецификацию, называемую LAN emulation, LANE (то есть эмуляция локальных сетей), которая призвана обеспечить совместимость традиционных протоколов и оборудования локальных сетей с технологией АТМ. Эта спецификация обеспечивает совместную работу этих технологий на канальном уровне. При таком подходе коммутаторы АТМ работают в качестве высокоскоростных коммутаторов магистрали локальной сети, обеспечивая не только скорость, но и гибкость соединений коммутаторов АТМ между собой, поддерживающих произвольную топологию связей, а не только древовидные структуры.

Спецификация LANE определяет способ преобразования кадров и адресов MAC - уровня традиционных технологий локальных сетей в ячейки и коммутируемые виртуальные соединения SVC технологии АТМ, а также способ обратного преобразования. Вся работа по преобразованию протоколов выполняют специальные компоненты, встраиваемые в обычные коммутаторы локальных сетей, поэтому ни коммутаторы АТМ, ни рабочие станции локальных сетей не замечают того, что они работают с чуждыми им технологиями. Такая прозрачность была одной из главных целей разработчиков спецификации LANE.

Так как эта спецификация определяет только канальный уровень взаимодействия, то с помощью коммутаторов АТМ и компонентов эмуляции LAN можно образовать только виртуальные сети, называемые здесь эмулируемыми сетями, а для их соединения нужно использовать обычные маршрутизаторы.

Рассмотрим основные идеи спецификации на примере сети, изображенной на рис. 6.34.

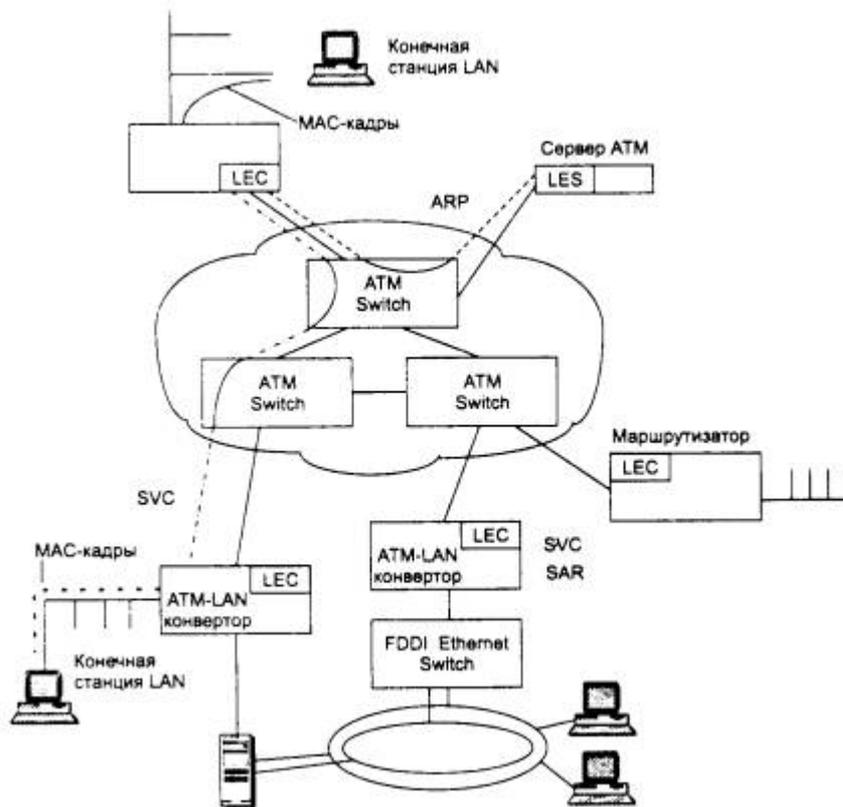


Рис. 6.34. Принципы работы технологии LAN emulation

Основными элементами, реализующими спецификацию, являются программные компоненты LEC (LAN Emulation Client) и LES (LAN Emulation Server). Клиент LEC выполняет роль пограничного элемента, работающего между сетью ATM и станциями некоторой локальной сети. На каждую присоединенную к сети ATM локальную сеть приходится один клиент LEC.

Сервер LES ведет общую таблицу соответствия MAC - адресов станций локальных сетей и ATM - адресов пограничных устройств с установленными на них компонентами LEC, к которым присоединены локальные сети, содержащие эти станции. Таким образом, для каждой присоединенной локальной сети сервер LES хранит один ATM - адрес пограничного устройства LEC и несколько MAC - адресов станций, входящих в эту сеть. Клиентские части LEC динамически регистрируют в сервере LES MAC - адреса каждой станции, заново подключаемой к присоединенной локальной сети.

Программные компоненты LEC и LES могут быть реализованы в любых устройствах — коммутаторах, маршрутизаторах или рабочих станциях ATM.

Когда элемент LEC хочет послать пакет через сеть ATM станции другой локальной сети, также присоединенной к сети ATM, он посылает запрос на установление соответствия между MAC - адресом и ATM - адресом серверу LES. Сервер LES отвечает на запрос, указывая ATM - адрес пограничного устройства LEC, к которому присоединена сеть, содержащая станцию назначения. Зная ATM - адрес, устройство LEC исходной сети самостоятельно устанавливает виртуальное соединение SVC через сеть ATM обычным способом, описанным в спецификации UNI. После установления связи кадры MAC локальной сети преобразуются в ячейки ATM каждым элементом LEC с помощью стандартных функций сборки-разборки пакетов (функции SAR) стека ATM.

В спецификации LANE также определен сервер для эмуляции в сети ATM широковещательных пакетов локальных сетей, а также пакетов с неизвестными адресами, так называемый сервер BUS (Broadcast and Unknown Server). Этот сервер распространяет такие пакеты во все пограничные коммутаторы, присоединившие свои сети к эмулируемой сети.

В рассмотренном примере все пограничные коммутаторы образуют одну эмулируемую сеть. Если же необходимо образовать несколько эмулируемых сетей, не взаимодействующих прямо между собой, то для каждой такой сети необходимо активизировать собственные серверы LES и BUS, а в пограничных коммутаторах активизировать по одному элементу LEC для каждой эмулируемой сети. Для хранения информации о количестве активизированных эмулируемых сетей, а также ATM - адресах соответствующих серверов LES и BUS вводится еще один сервер — сервер конфигурации LECS (LAN Emulation Configuration Server).

Спецификация LANE существует сегодня в двух версиях. Вторая версия ликвидировала некоторые недостатки первой, связанные с отсутствием механизма резервирования серверов LES и BUS в нескольких коммутаторах, что необходимо для надежной работы крупной сети, а также добавила поддержку разных классов трафика.

На основе технологии LANE работает новая спецификация ATM Forum - Multiprotocol Over ATM, MPOA. Эта спецификация ATM определяет эффективную передачу трафика сетевых протоколов - IP, IPX, DECnet и т. п. через сеть ATM. По назначению она близка к спецификации Classical IP, однако решает гораздо больше задач. Технология MPOA позволяет пограничным коммутаторам 3-го уровня, поддерживающим какой-либо сетевой протокол, но не строящим таблицы маршрутизации, находить кратчайший путь через сеть ATM. MPOA использует для этого серверный подход, аналогичный тому, что применен в LANE. Сервер MPOA регистрирует адреса (например, IP-адреса) сетей, обслуживаемых пограничными коммутаторами 3-го уровня, а затем по запросу предоставляет их клиентам MPOA, встроенным в эти коммутаторы. С помощью технологии MPOA маршрутизаторы или коммутаторы 3-го уровня могут объединять эмулируемые сети, образованные на основе спецификации LANE.

### **Использование технологии ATM**

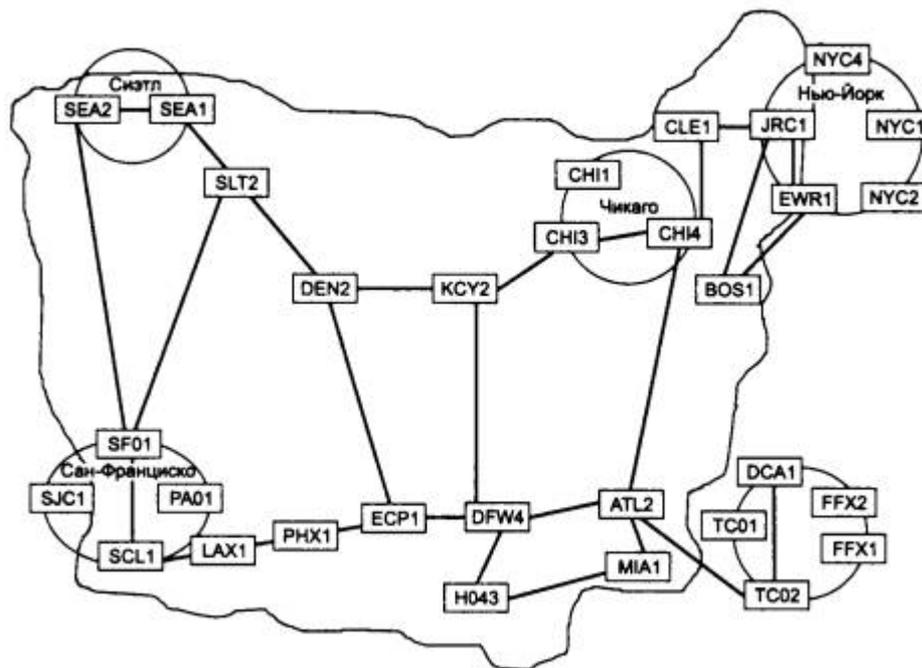
Технология ATM расширяет свое присутствие в локальных и глобальных сетях не очень быстро, но неуклонно. В последнее время наблюдается устойчивый ежегодный прирост числа сетей, выполненных по этой технологии, в 20-30 %.

В локальных сетях технология ATM применяется обычно на магистралях, где хорошо проявляются такие ее качества, как масштабируемая скорость (выпускаемые сегодня корпоративные коммутаторы ATM поддерживают на своих портах скорости 155 и 622 Мбит/с), качество обслуживания (для этого нужны приложения, которые умеют запрашивать нужный класс обслуживания), петле-видные связи (которые позволяют повысить пропускную способность и обеспечить резервирование каналов связи). Петле-видные связи поддерживаются в силу того, что ATM - это технология с маршрутизацией пакетов, запрашивающих установление соединений, а значит, таблица маршрутизации может эти связи учесть - либо за счет ручного труда администратора, либо за счет протокола маршрутизации PNNL

Основной соперник технологии ATM в локальных сетях - технология Gigabit Ethernet. Она превосходит ATM в скорости передачи данных - 1000 Мбит/с по сравнению с 622 Мбит/с, а также в затратах на единицу скорости. Там, где коммутаторы ATM используются только как высокоскоростные устройства, а возможности поддержки разных типов трафика игнорируются, технологию ATM, очевидно, заменит технология Gigabit Ethernet. Там же, где качество обслуживания действительно важно (видеоконференции, трансляция телевизионных передач и т. п.), технология ATM останется. Для объединения настольных компьютеров технология ATM, вероятно, еще долго не будет использоваться, так как здесь очень серьезную конкуренцию ей составляет технология Fast Ethernet.

В глобальных сетях ATM применяется там, где сеть frame relay не справляется с большими объемами трафика, и там, где нужно обеспечить низкий уровень задержек, необходимый для передачи информации реального времени.

Сегодня основной потребитель территориальных коммутаторов ATM - это Internet. Коммутаторы ATM используются как гибкая среда коммутации виртуальных каналов между IP-маршрутизаторами, которые передают свой трафик в ячейках ATM. Сети ATM оказались более выгодной средой соединения IP-маршрутизаторов, чем выделенные каналы SDH, так как виртуальный канал ATM может динамически перераспределять свою пропускную способность между пульсирующим трафиком клиентов IP-сетей. Примером магистральной сети ATM крупного поставщика услуг может служить сеть компании UUNET - одного из ведущих поставщиков услуг Internet Северной Америки (рис. 6.35).



**Рис. 6.35.** Магистральная сеть ATM компании UUNET

Сегодня по данным исследовательской компании Distributed Networking Associates около 85 % всего трафика, переносимого в мире сетями ATM, составляет трафик компьютерных сетей (наибольшая доля приходится на трафик IP - 32 %).

Хотя технология ATM разрабатывалась для одновременной передачи данных компьютерных и телефонных сетей, передача голоса по каналам CBR для сетей ATM составляет всего 5 % от общего трафика, а передача видеoinформации - 10 %.

Телефонные компании пока предпочитают передавать свой трафик непосредственно по каналам SDH, не довольствуясь гарантиями качества обслуживания ATM. Кроме того, технология ATM пока имеет недостаточно стандартов для плавного включения в существующие телефонные сети, хотя работы в этом направлении идут.

Что же касается совместимости ATM с технологиями компьютерных сетей, то разработанные в этой области стандарты вполне работоспособны и удовлетворяют пользователей и сетевых интеграторов.

## **Выводы**

- К технологиям глобальных сетей с коммутацией пакетов относятся сети X.25, frame relay, SMDS, ATM и TCP/IP. Все эти сети, кроме сетей TCP/IP, используют маршрутизацию пакетов, основанную на виртуальных каналах между конечными узлами сети.
- Сети TCP/IP занимают особое положение среди технологий глобальных сетей, так как они выполняют роль технологии объединения сетей любых типов, в том числе и сетей всех остальных глобальных технологий. Таким образом, сети TCP/IP относятся к более высокоуровневым технологиям, чем технологии собственно глобальных сетей.
- Техника виртуальных каналов заключается в разделении операций маршрутизации и коммутации пакетов. Первый пакет таких сетей содержит адрес вызываемого абонента и прокладывает виртуальный путь в сети, настраивая промежуточные коммутаторы. Остальные пакеты проходят по виртуальному каналу в режиме коммутации на основании номера виртуального канала, который является локальным адресом для каждого порта каждого коммутатора.
- Техника виртуальных каналов имеет преимущества и недостатки по сравнению с техникой маршрутизации каждого пакета, характерной для сетей IP или IPX. Преимуществами являются: ускоренная коммутация пакетов по номеру виртуального канала, а также сокращение адресной части пакета, а значит, и избыточности заголовка. К недостаткам следует отнести невозможность распараллеливания потока данных между двумя абонентами по параллельным путям, а также неэффективность установления виртуального пути для кратковременных потоков данных.
- Сети X.25 относятся к одной из наиболее старых и отработанных технологий глобальных сетей. Трехуровневый стек протоколов сетей X.25 хорошо работает на ненадежных зашумленных каналах связи, исправляя ошибки и управляя потоком данных на канальном и пакетном уровнях.
- Сети X.25 поддерживают групповое подключение к сети простых алфавитно-цифровых терминалов за счет включения в сеть специальных устройств PAD, каждое из которых представляет собой особый вид терминального сервера.
- На надежных волоконно-оптических каналах технология X.25 становится избыточной и неэффективной, так как значительная часть работы ее протоколов ведется «вхолостую».
- Сети frame relay работают на основе весьма упрощенной, по сравнению с сетями X.25, технологией, которая передает кадры только по протоколу канального уровня - протоколу LAP-F. Кадры при передаче через коммутатор не подвергаются преобразованиям, из-за чего технология и получила свое название.
- Важной особенностью технологии frame relay является концепция резервирования пропускной способности при прокладке в сети виртуального канала. Сети frame relay создавались специально для передачи пульсирующего компьютерного

трафика, поэтому при резервировании пропускной способности указывается средняя скорость трафика CIR и согласованный объем пульсаций Bc.

- Сеть frame relay гарантирует поддержку заказанных параметров качества обслуживания за счет предварительного расчета возможностей каждого коммутатора, а также отбрасывания кадров, которые нарушают соглашение о трафике, то есть посылаются в сеть слишком интенсивно.
- Большинство первых сетей frame relay поддерживали только службу постоянных виртуальных каналов, а служба коммутируемых виртуальных каналов стала применяться на практике только недавно.
- Технология АТМ является дальнейшим развитием идей предварительного резервирования пропускной способности виртуального канала, реализованных в технологии frame relay.
- Технология АТМ поддерживает основные типы трафика, существующие у абонентов разного типа: трафик с постоянной битовой скоростью CBR, характерный для телефонных сетей и сетей передачи изображения, трафик с переменной битовой скоростью VBR, характерный для компьютерных сетей, а также для передачи компрессированного голоса и изображения.
- Для каждого типа трафика пользователь может заказать у сети значения нескольких параметров качества обслуживания - максимальной битовой скорости PCR, средней битовой скорости SCR, максимальной пульсации MBS, а также контроля временных соотношений между передатчиком и приемником, важных для трафика, чувствительного к задержкам.
- Технология АТМ сама не определяет новые стандарты для физического уровня, а пользуется существующими. Основным стандартом для АТМ является физический уровень каналов технологий SONET/SDH и PDH.
- Ввиду того что АТМ поддерживает все основные существующие типы трафика, она выбрана в качестве транспортной основы широкополосных цифровых сетей с интеграцией услуг - сетей B-ISDN, которые должны заменить сети ISDN.

## 6.5. Удаленный доступ

Если магистральные связи между локальными сетями всегда строятся путем соединения локальных сетей с территориальным транспортом через маршрутизаторы, то для организации удаленного доступа могут использоваться различные схемы и продукты. Продукты удаленного доступа могут существенно отличаться реализованными в них функциями, а значит, и возможностями при решении конкретной практической задачи.

### 6.5.1. Основные схемы глобальных связей при удаленном доступе

Удаленный доступ - очень широкое понятие, которое включает в себя различные типы и варианты взаимодействия компьютеров, сетей и приложений. Если рассматривать все многочисленные схемы взаимодействия, которые обычно относят к удаленному доступу, то всем им присуще *использование глобальных каналов или глобальных сетей* при взаимодействии. Кроме того, для удаленного доступа, как правило, характерна *несимметричность взаимодействия*, когда, с одной стороны, имеется центральная крупная сеть или центральный компьютер, а с другой - отдельный удаленный терминал, компьютер или небольшая сеть, которые хотят получить доступ к информационным ресурсам центральной сети. Количество удаленных от центральной сети узлов и сетей, требующих этот доступ, постоянно растет, поэтому современные средства удаленного доступа рассчитаны на поддержку большого количества удаленных клиентов.

## Типы взаимодействующих систем

На рис. 6.36 приведены основные схемы удаленного доступа, отличающиеся типом взаимодействующих систем:

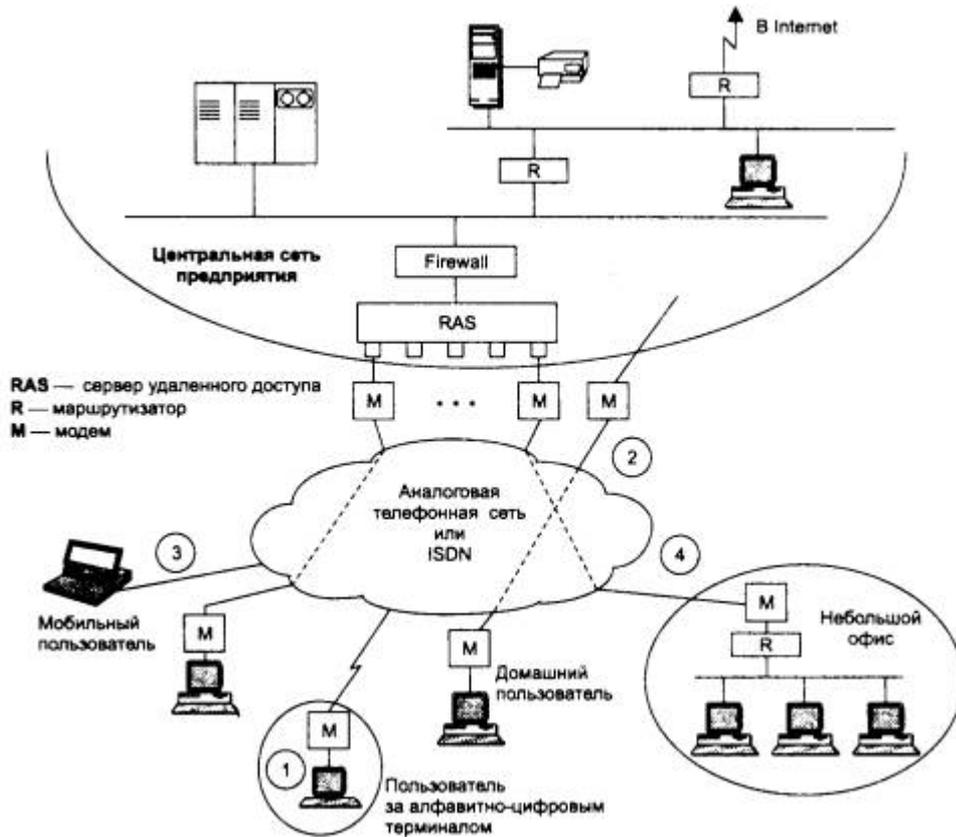


Рис. 6.36. Общая схема удаленного доступа

- терминал-компьютер-(1);
- компьютер-компьютер - (2);
- компьютер-сеть- (3);
- сеть-сеть - (4).

Первые три вида удаленного доступа часто объединяют понятием индивидуального доступа, а схемы доступа сеть - сеть иногда делят на два класса - ROBO и SOHO. Класс *ROBO (Regional Office/Branch Office)* соответствует случаю подключения к центральной сети сетей средних размеров - сетей региональных подразделений предприятия, а классу *SOHO (Small Office/Home Office)* соответствует случай удаленного доступа сетей небольших офисов и домашних сетей.

## Типы поддерживаемых служб

Схемы удаленного доступа могут отличаться также и типом служб, которые поддерживаются для удаленного клиента. Наиболее часто используется удаленный доступ к файлам, базам данных, принтерам в том же стиле, к которому пользователь привык при работе в локальной сети. Такой режим называется *режимом удаленного узла (remote node)*. Иногда при удаленном доступе реализуется обмен с центральной сетью

сообщениями *электронной почты*, с помощью которого можно в автоматическом режиме получить запрашиваемые корпоративные данные, например из базы данных.

Особое место среди всех видов удаленного доступа к компьютеру занимает способ, при котором пользователь получает возможность удаленно работать с компьютером таким же способом, как если бы он управлял им с помощью локально подключенного терминала. В этом режиме он может запускать на выполнение программы на удаленном компьютере и видеть результаты из выполнения. При этом принято подразделять такой способ доступа на *терминальный доступ* и *удаленное управление*. Если у удаленного пользователя в распоряжении имеется только неинтеллектуальный алфавитно-цифровой терминал (вариант 1 на рис. 6.36) или же он запускает на своем персональном компьютере программу эмуляции такого терминала (например, ТЕРМ90 из утилит Norton Commander или же программу Terminal из утилит Windows 3.1), то такой режим работы называют терминальным доступом. Для владельца алфавитно-цифрового терминала, например VT-100, этот вид удаленного доступа является единственно возможным. Доступ к мэйнфрейму IBM, работающему под управлением операционной системы MVS, с помощью доступа через удаленный или встроенный PAD, который затем работает с мэйнфреймом через сеть X.25, также является примером терминального доступа. Отличительной особенностью терминального доступа является то, что операционные системы на компьютере, к которому получают доступ пользователи, рассчитаны на многотерминальный режим работы, поэтому главное здесь — отличная от стандартного варианта схема подключения терминала, ориентированная на глобальные сети.

При удаленном управлении пользователь запускает на своем компьютере программу, которая эмулирует ему на экране сеанс работы с операционной системой — DOS, Windows, OS/2, — которая не поддерживает многотерминальный режим работы. Программа эмуляции экрана через глобальные каналы взаимодействует с дополнительным программным обеспечением, работающим под управлением соответствующей операционной системы на удаленном компьютере. Пользователь, как и при терминальном доступе, также получает полное управление удаленным компьютером, при этом он видит на экране графический интерфейс привычной ему операционной системы, в качестве которой чаще всего выступает Windows. Результат получается практически тот же, но за счет нестандартного дополнительного программного обеспечения на удаленном компьютере.

### **Типы используемых глобальных служб**

Схема организации удаленного доступа во многом определяется теми глобальными транспортными службами, которые доступны в точках нахождения многочисленных клиентов удаленного доступа. Кроме степени распространенности необходимо учитывать и стоимость глобальной службы. С учетом этих двух обстоятельств наиболее часто для организации удаленного доступа используется служба телефонных сетей — аналоговых (Plain Old Telephone Service — POTS) и, если это возможно, ISDN. Только эти сети пока могут обеспечить дешевый доступ практически из любого географического пункта. Правда, для нашей страны это справедливо только для аналоговых телефонных сетей, службы же ISDN доступны только в крупных городах и то фрагментарно. В то же время для большинства стран Западной Европы, Японии, Южной Кореи, а также США и Канады получение услуг ISDN для небольшого офиса или домашнего пользователя — это реальность сегодняшнего дня, и этим объясняется большое количество продуктов для организации удаленного доступа, ориентированных на службу ISDN. Хотя количество установленных абонентских окончаний ISDN даже в развитых странах пока в процентном

отношении и невелико по отношению к общему числу абонентов телефонной сети, но главную роль здесь играет то, что при заказе такого окончания абонент получает его в течение нескольких недель.

Служба выделенных каналов экономически оправдана только при подключении небольшого числа крупных подразделений предприятия, а для отдельных пользователей ее использование — слишком большая роскошь.

Служба сетей с коммутацией пакетов, таких как X.25 или frame relay, из-за своей стоимости также малопригодна для индивидуальных пользователей. Кроме того, точки доступа к этим сетям далеко не так распространены, как точки доступа к телефонной сети, имеющиеся почти в каждой квартире, не говоря уже о небольших офисах. Прямые подключения к сетям X.25 или frame relay целесообразны для организации равноправных связей сетей или же для подключения сетей класса RBO, так как такого рода сетей у предприятия обычно немного, а связь с центральной сетью им нужна постоянно. Для индивидуальных пользователей проблема подключения к сети X.25 решается доступом по телефонной сети через устройство PAD, оснащенное модемным пулом, если такой доступ оправдан экономически.

*Экономические аспекты* удаленного доступа должны учитывать способ его оплаты и интенсивность использования, которое обычно оценивается количеством часов загруженности глобальных каналов в месяц. Необходимо иметь в виду, что практически все транспортные службы удаленного доступа, связанные с коммутируемыми каналами, оплачиваются повременно, а в транспортных службах постоянных каналов схема оплаты помесечная, не зависящая от загрузки канала. Например, доступ через аналоговую телефонную сеть или ISDN оплачивается повременно, а доступ через выделенный канал 64 Кбит/с или постоянный канал 64 Кбит/с в сети frame relay оплачивается фиксированной месячной суммой.

Поэтому обычно сначала определяется, какое количество часов в месяц будет тот или иной удаленный пользователь работать с центральной локальной сетью удаленно. Затем на основании тарифов оплаты телекоммуникационных услуг находится тот вид услуги, который более экономичен для данного количества часов месячной работы. Обычно при количестве часов до 20-40 более выгодными являются аналоговые телефонные сети и ISDN. Для пользователей, которым требуется большее чем 40 количество часов доступа в месяц, например 60-80, может оказаться более выгодным воспользоваться выделенным каналом frame relay. Необходимо отметить, что коммутируемые услуги в сетях, основанных на технике виртуальных каналов, обычно оплачиваются также по временной схеме. Так оплачиваются услуги коммутируемых виртуальных каналов ATM и только появляющаяся аналогичная служба сетей frame relay.

### **6.5.2. Доступ компьютер - сеть**

В связи с широким использованием на предприятиях локальных сетей наиболее часто встречающийся вид удаленного доступа — это доступ не к отдельному компьютеру, а к сети в целом. Для этой цели в центральной сети предприятия устанавливается специальная система — сервер удаленного доступа (Remote Access Server, RAS), который выполняет большой спектр функций по обслуживанию многочисленных удаленных клиентов. Задачи сервера удаленного доступа, который часто называют также коммуникационным сервером, зависят от схемы удаленного доступа.

Очевидно, что для экономии модемов можно не ставить на каждый компьютер центральной сети отдельный модем, а организовать общий *пул модемов* и сделать его разделяемым ресурсом как для звонков из локальной сети, так и для звонков извне. Действительно, если каждому пользователю выделить персональный модем (и персональную линию связи), то, как правило, большую часть времени он будет простаивать, поэтому гораздо эффективнее использовать то число модемов (и линий), которое реально необходимо.

Разделяемый для пользователей локальный пул модемов создается с помощью так называемого *коммуникационного сервера (Communication Server)*. Коммуникационный сервер — это обычный компьютер или специализированное устройство, предоставляющее пользователям локальной сети прозрачный доступ к последовательным портам ввода/вывода, к которым подключены разделяемые модемы. Пользователь, подключившийся по локальной сети к коммуникационному серверу, может работать с одним из подключенных к нему модемов точно так же, как если бы этот модем был подключен непосредственно к компьютеру пользователя. Таким образом, коммуникационный сервер обслуживает пользователей локальной сети, делая локальные модемы разделяемыми ресурсами. Говорят, что коммуникационный сервер поддерживает режим *dial-out* — режим, который позволяет пользователям локальной сети устанавливать по своей инициативе связь через телефонную сеть с каким-либо удаленным компьютером.

Сервер удаленного доступа (*Remote Access Server, RAS*) обслуживает не локальных, а удаленных пользователей, предоставляя им доступ к ресурсам локальной сети — файлам, принтерам и т. п. — извне. Сервер удаленного доступа поддерживает режим *dial-in* — режим, который позволяет пользователю, работающему на удаленном компьютере, устанавливать связь с локальной сетью *по его инициативе*. Именно это является основной задачей систем удаленного доступа. С этой точки зрения удаленный доступ можно определить как эффективный способ разделения ресурсов централизованных серверов между удаленными клиентами.

Часто коммуникационный сервер и сервер удаленного доступа являются одним и тем же продуктом, выполненным либо в качестве дополнительного программного обеспечения в среде какой-либо популярной ОС, либо в хамстве отдельного устройства. За таким комбинированным продуктом обычно закрепляется название сервера удаленного доступа. Примерами программных серверов удаленного доступа являются сервер Microsoft RAS, работающий в составе ОС Windows NT, и сервер NetWare Connect, работающий в среде ОС NetWare.

Однако если режим *dial-in* поддерживают все серверы удаленного доступа по определению, то режим *dial-out* является факультативным и реализуется не всегда.

Режимы *dial-in* и *dial-out* только говорят о том, кто является инициатором установления соединения — удаленный пользователь или пользователь локальной сети..

В зависимости от потребностей пользователей и возможностей программно-аппаратного обеспечения удаленный доступ может осуществляться в соответствии с различными схемами: удаленный узел, удаленное управление и взаимодействие с помощью электронной почты.

### **Удаленный узел**

Одним из вариантов удаленного доступа типа компьютер - сеть является режим *удаленного узла (remote node)*. Программное обеспечение удаленного узла на клиентской машине позволяет последовательному порту и модему (или терминальному адаптеру ISDN) стать медленным узлом удаленной локальной сети, взаимодействующим обычным способом с сетевыми операционными системами при разделении их ресурсов. В локальной сети должен быть установлен сервер удаленного доступа, поддерживающий режим удаленного узла. Это означает, что сервер должен поддерживать один из протоколов канального уровня, используемых на глобальном канале. Протокол канального уровня необходим для связи удаленного компьютера с центральной локальной сетью. Так как чаще всего этот канал является коммутируемым каналом телефонной сети или ISDN, то сервер удаленного доступа должен поддерживать протоколы PPP и SLIP, используемые на этих каналах. В сети X.25 или frame relay сервер удаленного доступа должен поддерживать протоколы этих сетей, то есть протоколы LAP-B и X.25/3 для первого случая и LAP-F для второго (если сеть frame relay поддерживает только постоянные виртуальные каналы). При получении по глобальному каналу кадров соответствующего протокола, сервер, работающий в режиме удаленного узла, извлекает из кадра, например, PPP, пакеты тех общих протоколов сетевого уровня, по которым работают удаленный компьютер и компьютеры локальной сети. Такими протоколами могут быть протоколы IP, IPX или немаршрутизируемый протокол NetBEUI. Далее вступают в работу протоколы верхних уровней, и пользователь получает такой же доступ, как если бы его компьютер находился непосредственно в локальной сети, но с небольшим исключением — скорость обмена его компьютера с остальными компьютерами удаленной сети зависит от пропускной способности глобального канала связи.

Клиенты, работающие в режиме удаленного узла, могут логически войти в сеть таким же образом, как если бы они были локальными пользователями, отображать сетевые диски и даже загружать программы через удаленную связь. Но удаленная загрузка больших программ неразумна, так как самый скоростной модем 33,6 Кбит/с работает со скоростью, составляющей только 3 % от скорости сегмента Ethernet, и программа, которая в локальной сети загружается за 30 с, будет загружаться по удаленной связи в течение 15-20 минут. Поэтому в режиме удаленного узла локальные копии программ, как правило, эффективнее.

Другая проблема связана со способом работы сетевых операционных систем. Серверы часто рассылают широковещательные сообщения всем узлам сети для проверки подключенных и работающих клиентов. Такие широковещательные рассылки могут заблокировать удаленный доступ, если они не фильтруются перед отправкой по удаленным связям. Поэтому перед приобретением любого продукта необходимо проверить по его описаниям, может ли он работать в режиме удаленного доступа.

Компьютер, использующий режим удаленного узла, наиболее эффективно работает с системами клиент-сервер, так как в этом случае трафик по глобальному каналу обычно передается не очень интенсивный — запрос клиента обрабатывается на сервере, а по глобальному каналу передается только ответ. В режиме клиент-сервер работают многие корпоративные СУБД (например, Oracle, Informix, Microsoft SQL Server), а также приложения, ориентированные на эту архитектуру. Многие административные утилиты современных операционных систем поддерживают такой режим, например User Manager for Domains Windows NT.

Серверы, работающие в режиме удаленного узла, выполняют свои функции различным образом.

Первый вариант — это реализация в сервере удаленного узла функционального эквивалента маршрутизатора с WAN-портами для асинхронных модемов, ISDN-линий или асинхронного доступа к PAD X.25. Этот вариант универсален, так как обеспечивает доступ как отдельных компьютеров, так и локальных сетей. Однако данный вариант при подключении отдельного компьютера избыточен, поскольку требует выделения отдельного номера сети каждому подключившемуся к сети пользователю.

Второй вариант основан на работе сервера удаленного узла в режиме шлюза. Если удаленные клиенты и локальная сеть работают на протоколе IP, то всем удаленным компьютерам присваивается один и тот же номер IP-сети, совпадающий с номером локальной сети, к которой они получают доступ. В этом случае сервер выполняет функции посредника по протоколу ARP (говорят, что он поддерживает режим проху ARP), отвечая компьютерам локальной сети своим MAC - адресом на запросы о IP-адресах, принадлежащих удаленным подключившимся узлам. Для протокола NetBIOS работа сервера в режиме шлюза — это единственно возможный режим работы, так как этот протокол не может маршрутизироваться.

В сервере удаленного узла могут быть реализованы оба варианта работы, которые выбираются в зависимости от типа клиента (компьютер или сеть), а также протокола.

Операционные системы Mac OS, OS/2, Windows 95 и Windows NT Workstation включают в стандартную поставку клиентскую часть программного обеспечения удаленного узла. В настоящее время имеется явная тенденция использования клиентами удаленного узла протокола PPP. В результате достигается совместимость клиентских и серверных частей систем различных производителей, работающих в режиме удаленного узла.

### **Удаленное управление и терминальный доступ**

Другим распространенным вариантом удаленного доступа являются две разновидности практически одного и того же режима — *удаленное управление (remote control)* и *терминальный доступ (terminal access)*. При этом способе удаленный компьютер становится, в сущности, виртуальным терминалом компьютера - хоста, который может быть, а может и не быть подключен к сети. Этот вариант позволяет запустить любое приложение на компьютере - хосте, а также получить доступ к любым данным этого хоста. Если компьютер - хост подключен к сети, то и удаленные его пользователи становятся полноправными членами сети, действуя как пользователи компьютера - хоста.

Выше уже было сказано, что отличия удаленного управления от терминального доступа только в том, что при удаленном управлении пользователь связывается с операционной системой, не рассчитанной на поддержку многотерминального режима (MS-DOS, Windows 3.1, Windows 95/98, Windows NT, OS/2 Warp), а терминальный доступ осуществляется к операционным системам, для которых многотерминальный режим является основным (Unix, IBM, IBM OS-400, VAX VMS).

Удаленное управление или терминальный доступ нужны тогда, когда удаленный пользователь работает с приложениями, не оптимизированными для работы в сети, например с традиционными СУБД персональных компьютеров типа dBase, Paradox или Access. Иначе, когда такое приложение находится на одном компьютере, а файлы баз данных — на другом, в сети создается чрезмерно интенсивный трафик.

Централизованная схема удаленного управления требует установки в локальной сети предприятия специального программного продукта — сервера удаленного управления, например сервера WinFrame компании Citrix. На клиентских удаленных компьютерах также нужно установить дополнительное программное обеспечение — клиента удаленного управления.

Протоколы, используемые программами удаленного управления для передачи информации об обновлении экрана, нажатиях клавиш и перемещениях мыши, являются нестандартными — поэтому нужно устанавливать серверную и клиентские части удаленного управления от одного производителя. Например, пользователи программного клиента удаленного доступа Norton pcAnywhere не смогут дозвониться до хоста, работающего под управлением программ ReachOut, LapLink for Windows, Carbon Copy, Remotely Possible или Close-Up.

При терминальном доступе также желательно установить в центральной сети специальный продукт — терминальный сервер. Можно обойтись и без него, но тогда на каждый компьютер, к которому нужно подключиться в режиме удаленного терминала, нужно ставить модем и выделять ему отдельный телефонный номер. Терминальный сервер принимает запросы на связь с определенным компьютером и передает по локальной сети коды нажатия клавиш и символы, подлежащие отображению на экране пользовательского терминала. Для взаимодействия по локальной сети с многотерминальными ОС терминальный сервер использует стандартные протоколы эмуляции терминала, например telnet для Unix, DEC LAT для VAX VMS.

## **Почта**

Почта является еще одним видом удаленного доступа. Почтовые шлюзы, доступные по коммутируемым телефонным линиям, и клиентское почтовое обеспечение удаленного доступа могут быть достаточными для удовлетворения потребностей многих обычных пользователей. Такие почтовые шлюзы позволяют удаленным пользователям или даже удаленным офисам звонить в почтовую систему центрального отделения, обмениваться входящими и исходящими сообщениями и файлами, а затем отключаться.

Продукты, предназначенные для этих целей, варьируются от клиентских программ для одного пользователя, таких как cc:mail Mobile фирмы Lotus, до полномасштабных шлюзов, которые организуют почтовый обмен между удаленными серверами и корпоративной локальной сетью (например, Exchange компании Microsoft).

Почтовые шлюзы могут быть полезны в случае, когда количество данных, которыми обмениваются удаленные пользователи с центральным офисом, не очень большое. Из-за того, что среднее время сессии пользователь - шлюз сравнительно невелико, шлюз центральной сети не должен поддерживать большое количество телефонных линий. Обычно почтовое соединение легко устанавливается, а стоимость программного обеспечения шлюза незначительна.

Шлюзы работают в автоматическом режиме без вмешательства человека. Если в удаленном офисе работают один или два сотрудника и им не нужен доступ к корпоративным данным в реальном масштабе времени, то почтовый шлюз может быть хорошим решением. Некоторые приложения автоматически принимают запросы в виде писем электронной почты, а затем посылают в таком же виде ответы. Так, например, работают многие СУБД.

Не только почта, но и другие приложения, написанные для локальной вычислительной сети, могут иметь специфические программные модули, предназначенные для удаленных соединений. Такие программы устанавливают соединения между собой с помощью нестандартных протоколов и часто увеличивают эффективность соединения за счет специальных приемов, например путем передачи только обновлений между удаленным компьютером и хостом. Примером продуктов этого класса являются программные системы коллективной работы.

### **6.5.3. Удаленный доступ через промежуточную сеть**

#### **Общая схема двухступенчатого доступа**

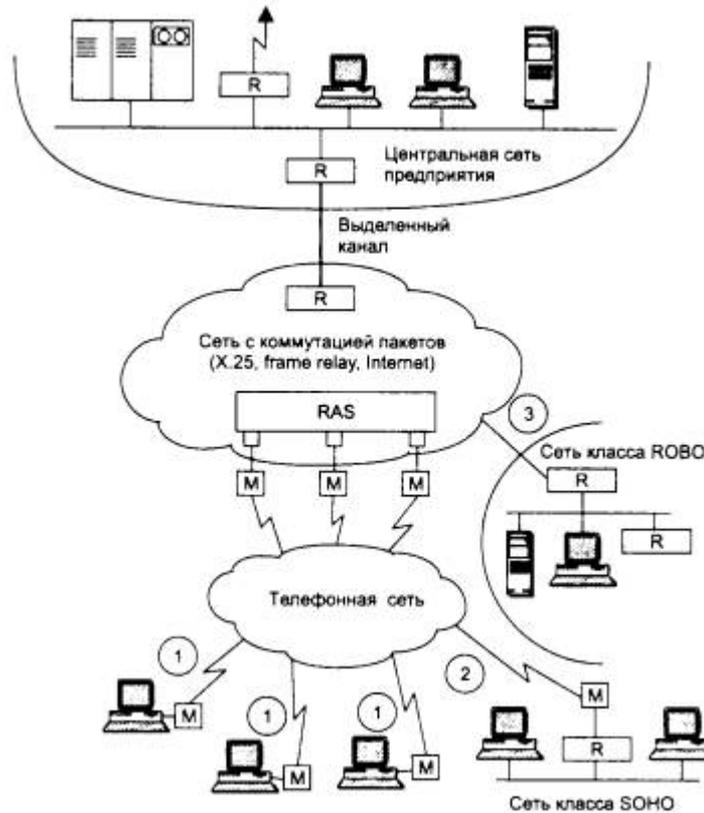
Раньше удаленный международный или междугородный доступ отдельных пользователей всегда реализовывался по схеме, основанной на использовании международной или междугородной телефонной связи. Публичные территориальные сети с коммутацией пакетов (в основном — сети X.25) не были так распространены, чтобы, находясь в любом городе, посланный в командировку сотрудник мог получить доступ к этой сети, а через нее — к маршрутизатору или серверу удаленного доступа своего предприятия.

Поэтому удаленные пользователи непосредственно звонили по телефонной сети на сервер удаленного доступа своего предприятия, не считаясь с затратами на международные или междугородные переговоры.

Однако сегодня очень часто служба международной сети с коммутацией пакетов имеется во многих городах, и чаще всего это служба Internet. По мере развития услуг сетей frame relay возможно, что и эта технология получит такое же массовое распространение. Поэтому стала возможной двухступенчатая связь удаленного пользователя со своей корпоративной сетью — сначала выполняется доступ по городской телефонной сети к местному поставщику услуг Internet, а затем через Internet пользователь соединяется со своей корпоративной сетью.

Такой вариант может значительно удешевить доступ по сравнению с непосредственным подключением через междугородные АТС.

Обычно экономия происходит за счет перехода от междугородных (или международных) звонков к местным. Если поставщик услуг сети с коммутацией пакетов поддерживает доступ по коммутируемым телефонным сетям, то непосредственный доступ к серверу, установленному в центральной сети, находящейся в другом городе, заменяется звонком на сервер удаленного доступа местного поставщика услуг (рис. 6.37).



**Рис. 6.37.** Подключение удаленных пользователей через промежуточную публичную сеть с коммутацией пакетов

Центральная сеть предприятия, используя выделенный канал, обычно непосредственно подключается к той же сети с коммутацией пакетов, что и удаленные пользователи в других городах.

Стандартизация клиентов удаленного доступа на основе протоколов PPP и SLIP упрощает проблемы обслуживания разнородных пользователей одним поставщиком услуг при использовании Internet в качестве промежуточной сети. Для сетей X.25 протоколы взаимодействия сети офиса с сетью поставщика услуг также вполне определены, хотя иногда наблюдаются случаи различной настройки одного и того же протокола в оборудовании и программном обеспечении клиента и поставщика услуг.

Выгода от Internet в качестве промежуточного транспорта оказывается особенно ощутимой, так как расценки поставщиков услуг Internet намного ниже, чем расценки поставщиков услуг сетей X.25. Это обстоятельство является не последней причиной бурного распространения технологии intranet, использующей транспортные и информационные службы Internet для внутрикорпоративных нужд.

Ввиду большой популярности Internet в качестве инструмента для доступа к корпоративной сети для этой двухступенчатой схемы разработано много протоколов и средств, которые создают виртуальный туннель между пользователем и точкой входа в корпоративную сеть - маршрутизатором или сервером удаленного доступа. Этот туннель решает две задачи. Во-первых, передачу через IP-сеть, которой является Internet, чужеродного для нее трафика - протоколов IPX, NetBEUI, непосредственно Ethernet и т. п. Во-вторых, туннель создает защищенный канал, данные в котором шифруются.

Промежуточная телефонная сеть делает доступ через Internet к корпоративной сети весьма медленным. В последнее время появилось несколько решений, позволяющих пользователю получить весьма быстрый доступ к Internet через существующие инфраструктуры абонентских окончаний телефонных сетей и сетей кабельного телевидения.

### **Технологии ускоренного доступа к Internet через абонентские окончания телефонных и кабельных сетей**

Сегодня многие телекоммуникационные компании разных стран мира начали активно внедрять различные варианты цифровых абонентских линий (DSL). В последнее время наибольшее внимание специалистов привлекла технология асимметричной цифровой абонентской линии (Asymmetric Digital Subscriber Line, ADSL), но помимо нее пользователям предложены также службы симметричной цифровой абонентской линии (SDSL), цифровой абонентской линии с переменной скоростью (Rate Adaptive DSL, RADSL) и сверхбыстрой цифровой абонентской линии (Very high-speed DSL, VDSL).

Цифровые абонентские окончания появились достаточно давно - впервые их ввели первичные сети каналов T1/E1. Цифровое абонентское окончание High-speed DSL (HDSL) работает по 4-проводной линии со скоростью до 1,544 или 2,048 Мбит/с. Цифровое абонентское окончание сети ISDN работает по 2-проводному окончанию со скоростью 128 Кбит/с.

Однако сегодня пользователям хотелось бы получить доступ к Internet (и через Internet к своим корпоративным сетям) с помощью стандартного 2-проводного телефонного окончания, установив при этом на своем домашнем компьютере какое-нибудь устройство типа модема. Перечисленные выше технологии позволяют это сделать с помощью специальных модемов.

Эти технологии рассчитаны на высокоскоростную передачу данных на коротком отрезке витой пары, соединяющей абонента с ближайшей телефонной АТС, то есть на решение проблемы «последней мили», отделяющей потребителя от поставщика услуг. В то время как обычные модемы (V.34, V.34+) рассчитаны на работу с полосой пропускания в 3100 Гц через сеть с произвольным количеством коммутаторов, модемы \*DSL могут получить в свое распоряжение полосу порядка 1 МГц - эта величина зависит от длины кабеля до АТС и сечения используемых проводов. Отличия условий работы модемов \*DSL от обычных модемов показаны на рис. 6.38 на примере ADSL-модемов.

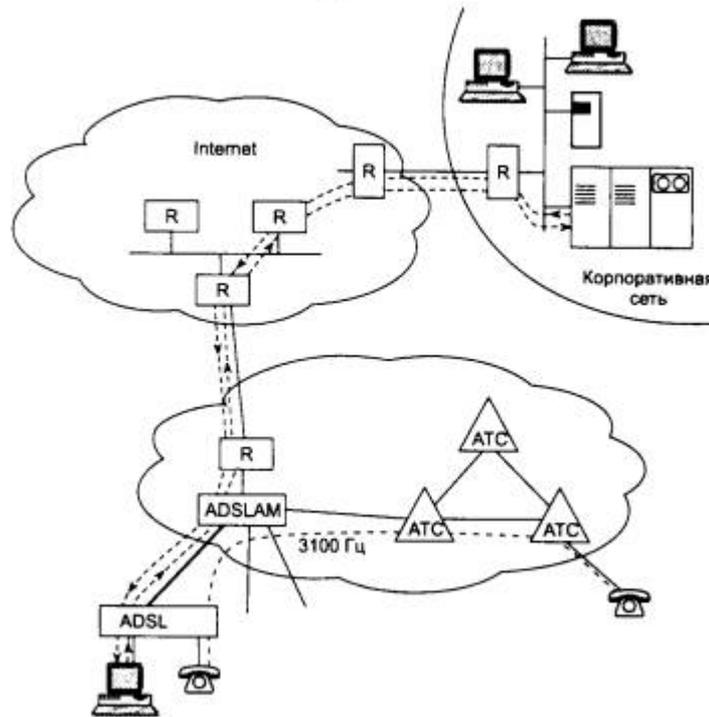


Рис. 6.38. Отличия условий работы ADSL-модемов от обычных модемов

ADSL-модемы, подключаемые к обоим концам короткой линии между абонентом и АТС, образуют три канала: быстрый канал передачи данных из сети в компьютер, менее быстрый дуплексный канал передачи данных из компьютера в сеть и простой канал телефонной связи, по которому передаются обычные телефонные разговоры. Передача данных в канале «сеть-абонент» происходит со скоростью от 1,5 до 6 Мбит/с, в канале «абонент-сеть» - со скоростью от 16 Кбит/с до 1 Мбит/с. В обоих случаях конкретная величина скорости передачи зависит от длины и качества линии. Асимметричный характер скорости передачи данных вводится специально, так как удаленный пользователь Internet или корпоративной сети обычно загружает данные из сети в свой компьютер, а в обратном направлении идут либо квитанции, либо поток данных существенно меньшей скорости. Для получения асимметрии скорости полоса пропускания абонентского окончания делится между каналами также асимметрично.

На дальнем конце абонентского окончания должен располагаться так называемый мультиплексор доступа ADSL - ADSLAM. Этот мультиплексор выделяет подканалы из общего канала и отправляет голосовой подканал в 3100 Гц на АТС, а высокоскоростные каналы данных направляет на маршрутизатор, который должен находиться рядом с ADSLAM.

Одно из главных преимуществ технологии ADSL по сравнению с аналоговыми модемами и протоколами ISDN и HDSL - то, что поддержка голоса никак не отражается на параллельной передаче данных по двум быстрым каналам. Причина подобного эффекта состоит в том, что ADSL основана на принципах разделения частот, благодаря чему голосовой канал надежно отделяется от двух других каналов передачи данных. Такой метод передачи гарантирует надежную работу канала POTS даже при нарушении питания ADSL-модема. Никакие конкурирующие системы передачи данных не обеспечивают работу обычного телефонного канала столь же надежно. Хотя технологии ISDN и HDSL

поддерживают режим обычной телефонной связи, для ее установления они требуют организации специального канала с пропускной способностью 64 Кбит/с.

Маршрутизатор, расположенный в здании АТС, должен соединяться выделенным высокоскоростным каналом с другим маршрутизатором Internet (или другой сети с коммутацией пакетов). Если центральная сеть предприятия подключена к Internet через выделенный высокоскоростной канал, то все удаленные пользователи, у которых установлены модемы ADSL, получают высокоскоростной доступ к сети своего предприятия на тех же телефонных каналах, которые всегда соединяли их с городской АТС.

Широкое распространение технологий \*DSL должно сопровождаться некоторой перестройкой работы поставщиков услуг Internet и поставщиков услуг телефонных сетей, так как их оборудование должно теперь работать совместно.

Стандарт на ADSL-модемы уже принят. Правда, он узаконил только один из реализованных в этой технологии видов кодирования - DMT, в то время как более дешевое CAP - кодирование, используемое некоторыми разработчиками этой технологии, пока не является стандартным. Модемы \*DSL являются частным случаем модемов, работающих на коротких ненагруженных линиях. Еще до появления технологий ADSL и ей подобных, модемы short range или short haul применялись для связи не очень удаленных между собой сетей и компьютеров. Этот класс модемов включал как очень простые устройства, так называемые драйверы линий, которые не модулировали сигнал, а просто являлись усилителями, так и сложные модемы, способные работать со скоростью до 2,048 Мбит/с (например, модемы компании RAD Data Communications).

Кроме абонентских окончаний телефонных сетей в последнее время для скоростного доступа к Internet стали применять абонентские окончания кабельного телевидения. Для этих целей уже разработан специальный вид модемов - кабельные модемы. В кабельных модемах используется имеющийся коаксиальный 75-омный телевизионный кабель для передачи данных из сети в компьютер со скоростью до 30 Мбит/с, а из компьютера в сеть - со скоростью до 10 Мбит/с. При этом качество передаваемых сигналов очень высокое.

Высокоскоростные абонентские окончания создают для поставщиков услуг Internet дополнительную проблему - им необходимо иметь очень скоростные каналы доступа к остальной части Internet, так как 10 абонентов с трафиком по 8 Мбит/с создают общий трафик в 80 Мбит/с, который качественно можно передать только с помощью технологий SONET/SDH или ATM. Ведущие поставщики услуг Internet, например UUCP, такие каналы уже имеют.

## **Выводы**

- Удаленный доступ характеризуется использованием глобальных транспортных служб, несимметричностью взаимодействия и большим количеством удаленных пользователей.
- При удаленном доступе в основном используются аналоговые телефонные сети и ISDN - ввиду их распространенности и невысокого уровня оплаты при соединениях небольшой длительности.
- Удаленные пользователи подключаются к специальному устройству центральной сети - серверу удаленного доступа (RAS), которое работает в режиме

маршрутизатора или шлюза в зависимости от протоколов, используемых удаленным пользователем.

- Наиболее универсальным режимом удаленного доступа является режим удаленного узла, при котором компьютер пользователя является узлом локальной сети предприятия со всеми его возможностями, но только подключенным к сети через низкоскоростной канал по протоколу PPP.
- Связь с центральной локальной сетью по инициативе удаленного пользователя называется режимом dial-in (основной режим), а по инициативе пользователя центральной сети - dial-out.
- Режимы терминального доступа и удаленного управления позволяют удаленному пользователю подключиться к компьютеру центральной сети в режиме, имитирующем работу локального терминала. Этот режим очень экономно расходует полосу пропускания глобального канала и рекомендуется для тех случаев, когда необходим низкоскоростной канал - 4800 или 9600 бит/с.
- Для удаленного доступа может использоваться режим электронной почты, который автоматически поддерживается многими приложениями, в том числе СУБД, для получения запросов и отправки ответов.
- Для экономичного удаленного доступа в последнее время часто используется двухступенчатая схема доступа, в которой на первом этапе удаленный пользователь подключается через местную телефонную сеть к местному поставщику услуг Internet, а через Internet выполняется второй этап подключения - к центральной сети, расположенной в другом городе или другой стране.
- Для скоростного доступа к Internet через инфраструктуру абонентских окончаний телефонных аналоговых сетей или сетей кабельного телевидения разработаны новые технологии цифрового абонентского окончания - технологии \*DSL, из которых наибольший интерес представляет технология асимметричного доступа ADSL.

## Вопросы и упражнения

1. Чем отличаются модемы от устройств DSU/CSU?
2. Предприятие решило создать собственную глобальную сеть. Какой тип глобальных связей будет наиболее эффективен, если предприятию необходимо соединить локальную сеть в штаб-квартире с тремя локальными сетями региональных подразделений, расположенных в разных городах? Средняя интенсивность трафика между сетями подразделений и центральной сетью оценивается диапазоном значений от 500 Кбит/с до 1 Мбит/с.
3. Вы убедились, что модем устойчиво работает на выделенном 2-проводном канале как в асинхронном, так и в синхронном режимах. Какой режим вы предпочтете?
4. К устройству какого уровня в терминах модели OSI можно отнести современный модем?
5. Можно ли использовать обычное абонентское окончание телефонной аналоговой сети, имеющееся в офисе, для подключения к каналу E1?
6. Каким видом услуг цифровых сетей можно воспользоваться, если необходимо соединить две локальные сети, находящиеся в разных городах, причем интенсивность межсетевых трафика составляет от 100 до 180 Кбит/с?
7. Сколько каналов T1 можно передать в одном канале STS-1?
8. Может ли сеть X.25 работать без устройств PAD?

9. Какие устройства необходимо применить для подключения мэйнфрейма, имеющего только интерфейсы RS-232C, к локальной сети Ethernet, если известно, что сетевые адаптеры Ethernet для этого мэйнфрейма не выпускаются?
10. Каким образом пользователь может подключиться к встроенному устройству PAD через телефонную сеть, если он работает за терминалом, который не поддерживает процедуры вызова абонента через телефонную сеть автоматически?
11. Какую услугу ISDN целесообразно использовать, если к этой сети подключены с помощью терминальных адаптеров два персональных компьютера и им нужно постоянно обмениваться данными со скоростью 2400 бит/с с пульсациями до 9600 бит/с, причем величины задержек пакетов не являются критичными?
12. Какую услугу ISDN целесообразно использовать, если к этой сети подключены с помощью маршрутизаторов две локальные сети, причем межсетевой трафик имеет интенсивность от 100 до 512 Кбит/с в течение длительного периода времени?
13. Сравните количество кадров, которое порождает обмен двумя сообщениями TCP (посылка данных и получение квитанции) между двумя конечными хостами, соединенными одним промежуточным коммутатором для случаев, когда этот коммутатор является коммутатором X.25 и когда этот коммутатор является коммутатором frame relay?
14. В каком случае процент дошедших кадров через сеть frame relay до конечного узла будет выше: когда услуга заказана на основании параметров CIR,  $V_c$  и  $V_e$  или когда услуга заказана на основании только параметров CIR и  $V_c$  (подразумевается, что значения параметров CIR и  $V_c$  в обоих случаях совпадают). Сеть frame relay недогружена, а узел-источник отправляет данные со скоростью, часто значительно превышающей CIR?
15. Если у вашего предприятия появилась необходимость соединить многочисленные сети филиалов с центральной сетью и между собой, но в распоряжении имеются только выделенные аналоговые каналы с установленными синхронными модемами 19,2 Кбит/с, то какую технологию из следующих вы выберете: X.25, frame relay или ATM? Обоснуйте факторы, которые повлияют на ваше решение.
16. Для какой из категории услуг сеть ATM явно управляет потоком данных? Почему для других категорий услуг управление потоком данных не используется?
17. Вы хотите вручную настроить постоянный виртуальный канал в двух корпоративных сетях ATM, соединенных публичной сетью ATM. Вы не хотите, чтобы ваши номера VCI зависели от номеров виртуальных каналов, используемых администратором в публичной сети ATM. Какой вид коммутации вы закажете у поставщика услуг публичной сети ATM?
18. Вы купили модем V.90 и связываетесь по телефонной сети со своим знакомым, который также использует модем V.90. Вы уверены, что все АТС на пути между вами и вашим знакомым работают в цифровом режиме. На какой скорости вы получите соединение со своим знакомым?
19. В каких случаях выгоднее использовать для удаленного доступа: сеть ISDN с интерфейсом B+D, выделенный цифровой канал 64 Кбит/с, постоянный виртуальный канал frame relay с CIR=64 Кбит/с?
20. Вы соединили две локальные сети удаленным мостом, работающим через постоянный виртуальный канал в сети frame relay. Сессия протокола NetBEUI между компьютерами разных сетей часто разрывается, в то же время в том случае, когда компьютеры принадлежат одной локальной сети, их взаимодействие протекает без проблем. В чем может быть причина такой ситуации?