

## ТЕМА 4 Глобальные сети передачи данных

### 4.1 Организация глобальных сетей

Потребность в соединении источников дискретной информации, удаленных друг от друга на многие сотни и даже тысячи километров, возникла при внедрении средств вычислительной техники в **территориально распределенных** производственных, научных и административно-государственных структурах.

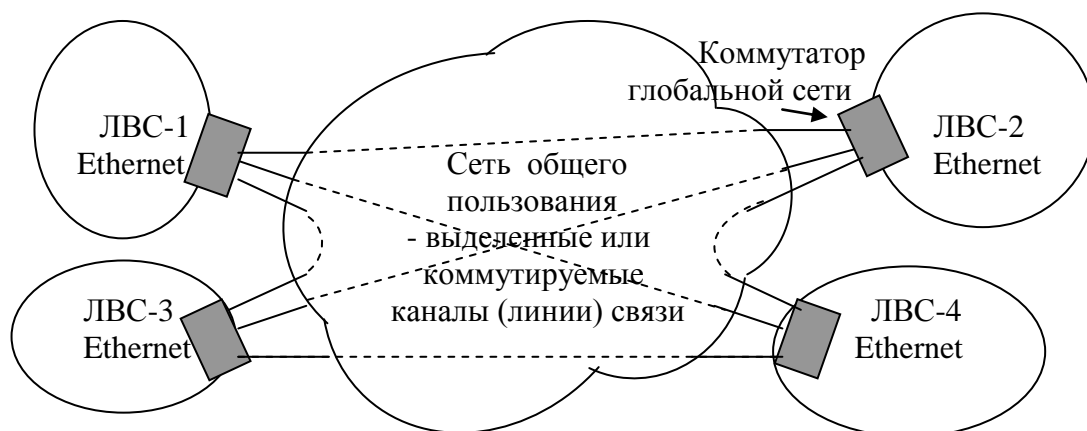
Эффективное функционирование современных научно-производственных комплексов, различных государственных, в том числе оборонных ведомств требует сбора и обработки постоянно возрастающих объемов информации, оперативного взаимодействия различных вычислительных средств,

Так появились глобальные сети (Wide Area Network, WAN), объединяющие разнообразные источники дискретной информации, территориально рассредоточенные в различных городах и странах.

В чем заключаются основные различия глобальных сетей от рассмотренных ранее локальных вычислительных сетей?

В **локальных** сетях вначале предлагается сетевая технология, под которую подбирается соответствующая **общая разделяемая** среда, реализуемая, как правило, с помощью **собственных** линий – коаксиальных, симметричных, волоконно-оптических кабелей или радиолиний.

Переход к глобальным сетям связи потребовал передачи трафика по линиям и каналам **сетей общего пользования**. По существу, в глобальной компьютерной сети множество локальных сетей связываются между собой при помощи каналов или линий связи сетей общего пользования. **Выделенные** (некоммутируемые) каналы или линии связи соединяют **коммутаторы** глобальной сети между собой (см. рисунок).



Использование каналов сети общего пользования при построении глобальных сетей

Абоненты локальной сети могут подключаться к коммутаторам в общем случае также с помощью **выделенных** каналов связи.

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 коммутируемым 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. Применение коммутируемых каналов на магистральных связях коммутатор – коммутатор также возможно, но весьма нежелательно по тем же причинам.

Для сети общего пользования сети ПДИ являются **вторичными** сетями, использующими каналы и тракты **первичной** телекоммуникационной сети технологий ЧРК, ПЦИ или СЦИ.

Поэтому **первым** обязательным условием для построения глобальной компьютерной сети является **обеспечение взаимодействия с сетями общего пользования**, что приводит к **зависимости** предлагаемой технологии глобальных сетей от параметров каналов и линий связи, используемых в это время на сетей общего пользования.

Первые глобальные сети передачи дискретной информации организовывались на основе существовавших каналов связи, изначально предназначенных совсем для других целей. В течение многих лет глобальные сети строились на основе **каналов тональной частоты** аналоговых систем передачи, исходно предназначенных для передачи речевых сигналов. Каналы ТЧ обеспечивают крайне низкую скорость передачи (до 10 кбит/с); достоверность передачи цифровых сигналов соответствует  $10^{-3}$ . Технологии глобальных сетей передачи ДИ, построенных с использованием каналов столь низкого качества, требовали **сложных процедур контроля** и восстановления передаваемых данных, чтобы обеспечить необходимую достоверность передачи информации.

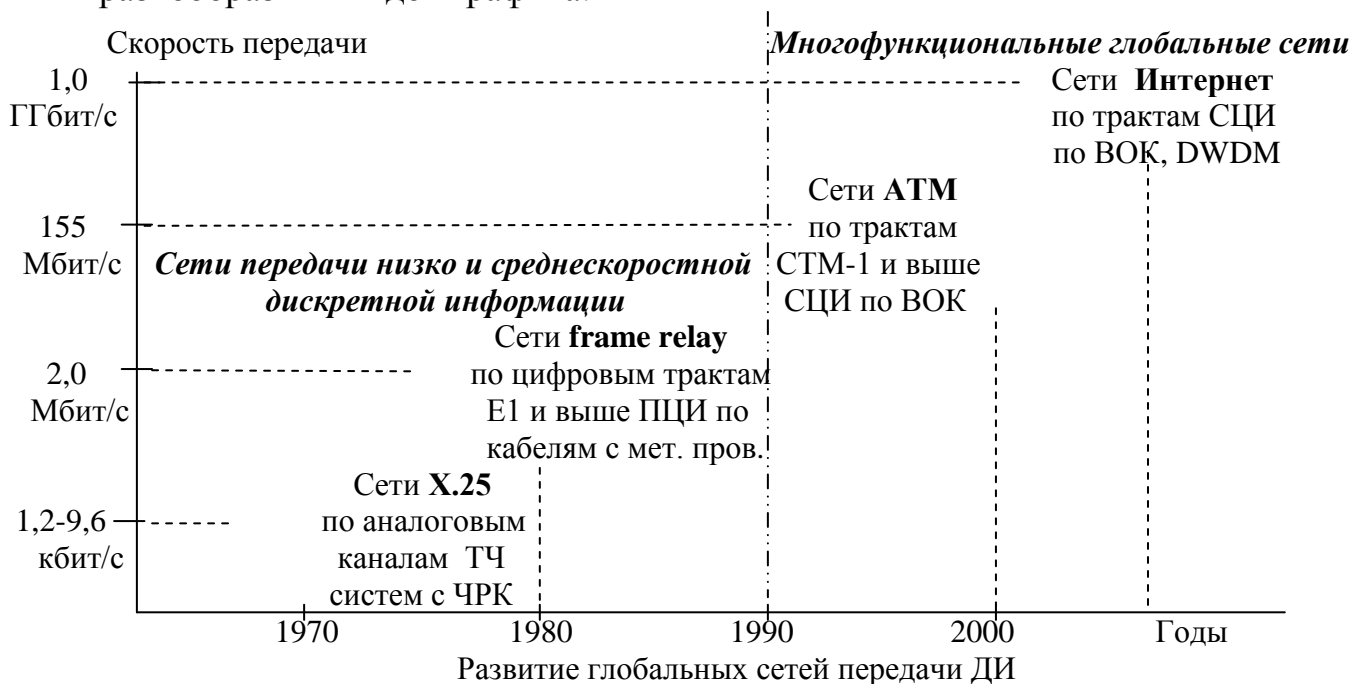
Создание **систем с ИКМ** в 60-х гг. привело к появлению широкополосных цифровых каналов и к увеличению скорости передачи до 2-10 Мбит/с. В конце 80-х годов **системы СЦИ** и высокоскоростные волоконно-оптические линии связи расширили диапазон скоростей цифровых каналов до 10 Гбит/с и резко **повысили достоверность** передачи ДИ. Повышение достоверности передачи в цифровых трактах позволило **упростить** процедуры контроля в технологиях ПДИ.

Технология спектрального мультиплексирования (Dense Wave Division Multiplexing, DWDM) еще более расширило пропускную способность цифровых каналов и линий связи – до сотен Гбит/с и более.

**Вторым существенным признаком** глобальной сети является **разнородность** передаваемого **трафика**. Современная глобальная сеть с коммутацией пакетов должна передавать не только дискретные данные, но трафик абонентов и абонентского оборудования **любых типов**. Каждый вид сигналов предъявляет специфические требования к характеристикам сети связи. Выполнение зачастую противоречивых

требований для передачи различных сигналов является основной проблемой построения эффективных глобальных сетей.

Повышение скорости работы и расширение функциональных возможностей глобальных сетей передачи ДИ происходило *постепенно* (см. рисунок). Так, наиболее «старая» глобальная сеть X.25 передает только ДИ, сети АТМ изначально разрабатывались для передачи практически *всех* существующих *видов* трафика, а сеть Интернет, первоначально созданная как чисто компьютерная сеть, стремительно совершенствуется, повышая качество обслуживания (QoS) для разнообразных видов трафика.



В глобальных сетях реализуются основные функции *четырёх* нижних уровней стандартной модели взаимодействия открытых систем ISO: физического, канального, сетевого и транспортного.

По сравнению с локальными сетями в глобальных сетях добавляются *сетевой* и *транспортный* уровни. Напомним, что сетевой уровень обеспечивает *передачу* данных через *составные сети*, построенные на основе *различных* локальных и глобальных сетевых *технологий*, а транспортный уровень обеспечивает *качество* передачи сообщений между узлами *конечных пользователей*.

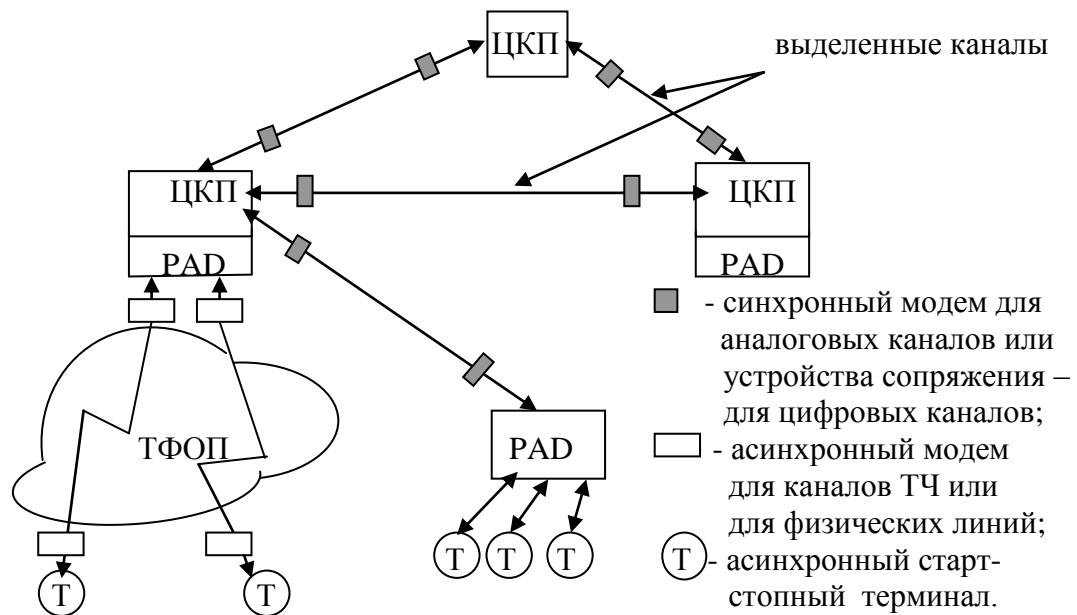
#### 4.2 Сети X.25

Сети X.25 являются «старейшиной» применяемых пакетных сетей ПДИ. Рекомендация МККТТ X.25 была утверждена в 1976г. Это сеть, обеспечивающая передачу низкоскоростной дискретной информации. Источниками сообщений являлись асинхронные стартстопные устройства типа телетайпов, банковских автоматов и кассовых терминалов. При этом долгое время сети X.25 были *единственными*

доступными сетями коммерческого типа с коммутацией пакетов. Интернет тоже имеет долгую историю существования, но он развивался вначале как закрытая сеть и как коммерческая глобальная сеть начал эксплуатироваться совсем недавно.

Сеть X.25 состоит (см. рисунок) из терминалов, подключаемых через физические линии или каналы ТФОП к *коммутаторам*, называемым также *центрами коммутации пакетов* (ЦКП).

ЦКП находятся в разных географических точках и соединены между собой *выделенными каналами*. Выделенные каналы могут быть аналоговыми и цифровыми.



Структура сети X.25

*Асинхронные старт-стопные терминалы* подключаются к сети через специальные устройства *PAD (Packet Assembler/Disassembler)*, производящих *сборку* нескольких низкоскоростных стартстопных потоков байтов от алфавитно-цифровых терминалов *в пакеты*, передаваемые по сети. Эти устройства имеют русскоязычное название – *сборщик-разборщик пакетов*.

Одно устройство PAD обычно обеспечивает доступ для 8, 16 или 24 асинхронных терминалов. Устройства PAD часто используются для подключения к сетям X.25 кассовых терминалов и банкоматов, имеющих асинхронный интерфейс RS-232.

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

Терминалы подключаются к устройствам PAD либо непосредственно, либо через *асинхронные* модемы, работающие по

каналам ТФОП и использующие простейшие методы передачи ДИ типа амплитудной модуляции.

Устройства PAD соединяются с узлами сети X.25 при помощи **синхронных** модемов. **Узлы сети X.25** связаны между собой либо синхронными модемами, работающим по выделенным аналоговым каналам, либо устройствами сопряжения, формирующими кадры в цифровых каналах.

Компьютеры и локальные сети обычно подключаются к сети X.25 непосредственно через адаптер X.25 или маршрутизатор, поддерживающий на своих интерфейсах протоколы X.25. 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.

Для сетей передачи данных типа X.25 определена **международная система нумерации**. Длина адреса может достигать до 14 десятичных знаков. Первые четыре цифры адреса называют **кодом идентификации сети**; 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, то 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 адреса называются **номером национального терминала** и позволяют идентифицировать определенное устройство в сети X.25.

Стандартами сетей X.25 **на физическом уровне** определены синхронные интерфейсы X.21 и X.21 bis с оборудованием передачи данных. Таким оборудованием является либо DSU/CSU (Data Service Unit, – устройство обслуживания данных, УОД и Channel Service Unit – устройство обслуживания канала, УОК)\*, если выделенный канал является выделенным каналом **цифровых систем ПЦИ или СЦИ**, либо синхронный модем, если канал **аналоговый**.

\* Устройство УОД/УОК преобразует сигналы, поступающие от DTE (обычно по интерфейсу RS-232, RS-449 или V.35), формируя кадры групповых цифровых каналов E1-E4 или же STM-N.

Стек протоколов X.25 содержит **три** уровня: физический, канальный и сетевой. Однако сетевой уровень рассчитан на работу только с **одним протоколом** канального уровня и **не может** подобно протоколу IP объединять разнородные сети.

На **канальном уровне** устанавливается соединение между **пользовательским** оборудованием и **коммутатором** сети, а также соединение внутри сети **между** непосредственно **связанными коммутаторами**. Определенный канал существует только **между соседними точками сети**. После установления соединения на **канальном уровне** на всех сегментах составного канала, конечный узел должен установить виртуальное соединение с другим конечным узлом сети.

На **сетевом уровне** выполняются функции **маршрутизации** пакетов, **установления и разрыва виртуального канала** между

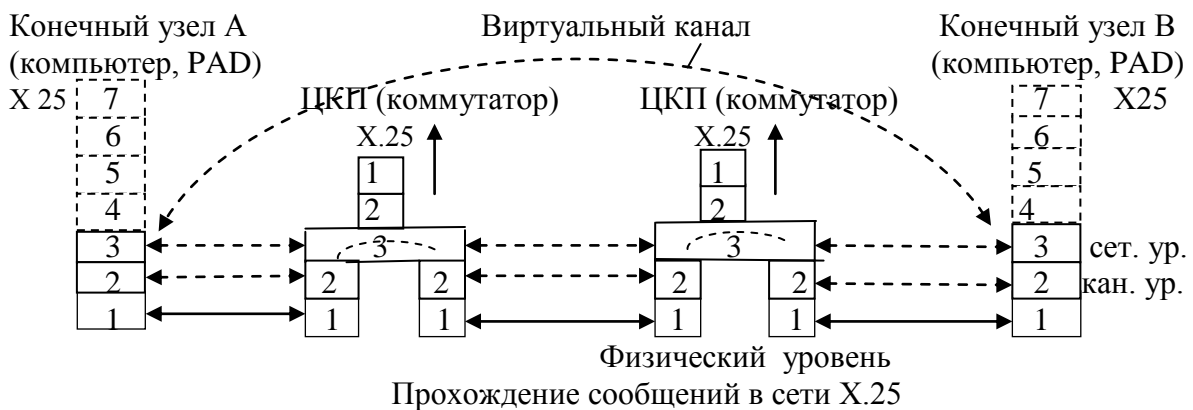


конечными абонентами сети. Для этого в кадрах канального уровня посылается пакет *с запросом на установление виртуального канала*, содержащий адреса назначения и адреса источника. По адресу назначения осуществляется *маршрутизация* пакета с запросом. Прохождение пакета с запросом *закрепляет номера* виртуальных каналов на каждом центре коммутации пакетов, входящем в составной канал.

Если узел назначения решает принять запрос, то он должен отправить пакет «Запрос принят», в котором также должен указать оба адреса, поменяв их местами.

После установления виртуального канала конечные узлы обмениваются пакетами другого формата – *формата пакетов данных*.

Механизм прохождения сообщений в сети X.25 показан на рисунке.



В каждом физическом соединении возможна организация 16 групп по 256 логических каналов, т.е. до 4096 логических каналов.

Протокол X.25 допускает длины поля данных от 16 до 1024 байт. Предпочтительной является длина 128 байт.

Коммутатор X.25 в каждом ЦКП должен:

- **принять** кадр канального уровня;
- **ответить** на него другим кадром, в котором **подтвердить** получение кадра с конкретным номером;
- при **утере или искажении** кадра коммутатор должен организовать **повторную передачу кадра**;
- если с полученным кадром все в порядке, то коммутатор должен **извлечь** пакет X.25;
- на основании номера виртуального канала определить **выходной порт**,
- сформировать **новый кадр** канального уровня **для дальнейшего продвижения** пакета.

Сети X.25 хорошо работают на ненадежных линиях, благодаря протоколам, обеспечивающим:

- **коррекцию** ошибок **на двух уровнях** – канальном и сетевом.

- установление *логического соединения* в виде виртуального канала между конечными пользователями.

Стандарты сети X.25 наилучшим образом подходят для передачи трафика небольшого объема по каналам с низкой достоверностью.

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, т.к. работают по закрепленной системе маршрутов, а также *не преобразуют форматы кадров канальных протоколов* – они работают с одним видом канального протокола.

По принципу работы коммутаторы ЦКП ближе к *коммутаторам* локальных сетей, т.к. они работают с единой сетевой технологией. Однако, работа, которую выполняют коммутаторы X.25 над поступившими кадрами, содержит *больше* этапов, чем при продвижении кадров коммутаторами локальных сетей.

Коммутаторы локальных сетей такой работой не занимаются, а 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 (1200-9600 бит/с), которые много лет использовались абонентами этой сети, такой производительности коммутаторов было достаточно.

Сеть X.25 не дает гарантий пропускной способности. Максимум, что может сделать сеть, - это *приоритезировать* трафик отдельных виртуальных каналов.

Протоколы сетей X.25 были специально разработаны для низкоскоростных линий с высоким уровнем помех. Такие линии используются в телекоммуникационной структуре нашей страны, в частности, на сетях пакетной радиосвязи на основе ресурсов базовой сети X.25.

На надежных кабельных цифровых и волоконно-оптических каналах технология X.25 становится избыточной и неэффективной, так как значительная часть работы ее протоколов ведется «вхолостую».

### ***4.3 Сети frame relay***

Когда качество каналов связи приближается к качеству цифровых каналов, можно существенно снизить протокольную избыточность, присущую сетям X.25. Это было реализовано в технологии *frame relay* (*ретрансляция кадра*).

Технология frame relay получила свое название из-за того, что кадры при передаче через центр коммутации *не подвергаются* преобразованиям. *Низкая* протокольная *избыточность* сетей frame relay обеспечивает высокую пропускную способность и небольшие *задержки* кадров.

**Скорость** передачи данных в сети frame relay возросла **до 2 Мбит/с**. Это существенно выше скорости передачи 9,6 кбит/с, реализованной в технологии X.25. Однако в эти годы резко увеличились потребности в передаче дискретной информации, что потребовало установления **определенных гарантий** для пользователей по передаче **требуемых объемов** дискретных сообщений.

Технология frame relay **гарантирует** поддержку основных **показателей** качества транспортного обслуживания локальных сетей – средней **скорости** передачи по виртуальному каналу при **допустимых** пульсациях трафика.

Поддержка заданных параметров качества обслуживания обеспечивается за счет **предварительного** расчета возможностей каждого коммутатора, а также **отбрасывания** кадров пользователя, **нарушающего** соглашение о трафике, то есть посылающего в сеть сообщения слишком интенсивно.

Технология frame relay использует для передачи технику **виртуальных соединений**, аналогичную той, которая применяется в сетях X.25.

Однако стек протоколов frame relay **передает кадры** (при уже 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.

Стандарты frame relay 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 лишь несколько часов в месяц, больше подходят коммутируемые каналы. На практике поддерживаются, в основном, **постоянные виртуальные каналы**.

Кадры передаются **без** преобразования и **контроля в коммутаторах**, как и в коммутаторах локальных сетей. Сеть не передает квитанции подтверждения между коммутаторами на каждый пользовательский кадр, как это происходит в сети X.25. За счет этого сети frame relay обладают весьма высокой производительностью.

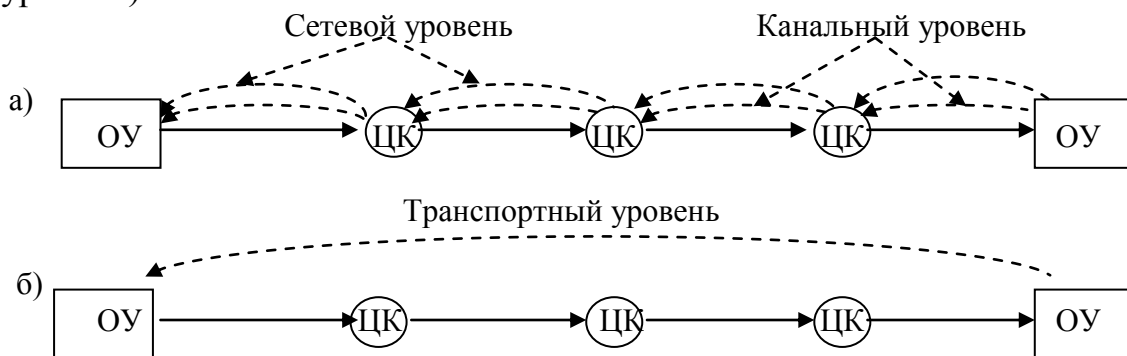
Протокол frame relay подразумевает, что **конечные** узлы будут **обнаруживать** и **корректировать** ошибки за счет протоколов **транспортного** или более высоких уровней. Это требует некоторой степени интеллектуальности от конечного оборудования.

При протоколе frame relay **повторная** передача кадров с целью устранения ошибок осуществляется только по сквозному каналу, т.е. между **оконечными** устройствами пользователей (функция управления вынесена **на границу** сети). Чтобы не загружать каналы передачей кадров, в которых есть ошибки, на уровне канала производится только обнаружение ошибок и стирание кадров, в которых обнаружены ошибки. В этом отношении **технология** frame relay **близка к технологиям**



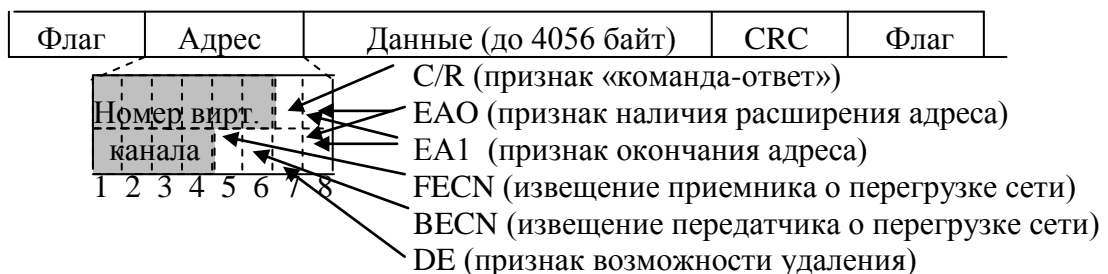
локальных сетей, таким как Ethernet, Token Ring и FDDI, которые тоже только отбрасывают искаженные кадры, но сами не занимаются их повторной передачей.

Различие в методах обработки сигнала в технологиях frame relay и X.25 показано на рисунке. В технологии X.25 сетевой уровень в центре коммутации не только транслирует передаваемый пакет из одного виртуального канала в другой, но и осуществляет контроль и подтверждение правильности получения этого пакета, взаимодействуя с сетевым уровнем предыдущего узла. В технологии frame relay канальный и сетевой уровни занимают только задачей передачи пакета по отдельному межузловому сегменту виртуального канала (канальный уровень), либо между сегментами виртуального канала (сетевой уровень).



Контроль ошибок при передаче ДИ в технологиях X.25 (а) и frame relay (б)

Структура кадра протокола LAP-F, используемого для трансляции кадров по установленному виртуальному каналу (установка канала производится с помощью протокола LAP-D), приведена на рисунке. Адрес занимает 2 байта. Номер виртуального канала имеет 10 бит, т.е. число виртуальных каналов может достигать 1024. При необходимости номер виртуального канала может быть расширен и адрес может состоять не из 2-х, а из 3-4-х байтов. Поле данных протокола frame relay может содержать до 4056 байт.



Формат кадра LAP-F технологии frame relay

Широкую популярность технологии frame relay обеспечила способность технологии **гарантировать** некоторые параметры качества обслуживания (QoS).

Для каждого виртуального соединения определяется CIR (Committed Information Rate) – **согласованная** информационная **скорость**, с которой сеть будет передавать данные пользователя.

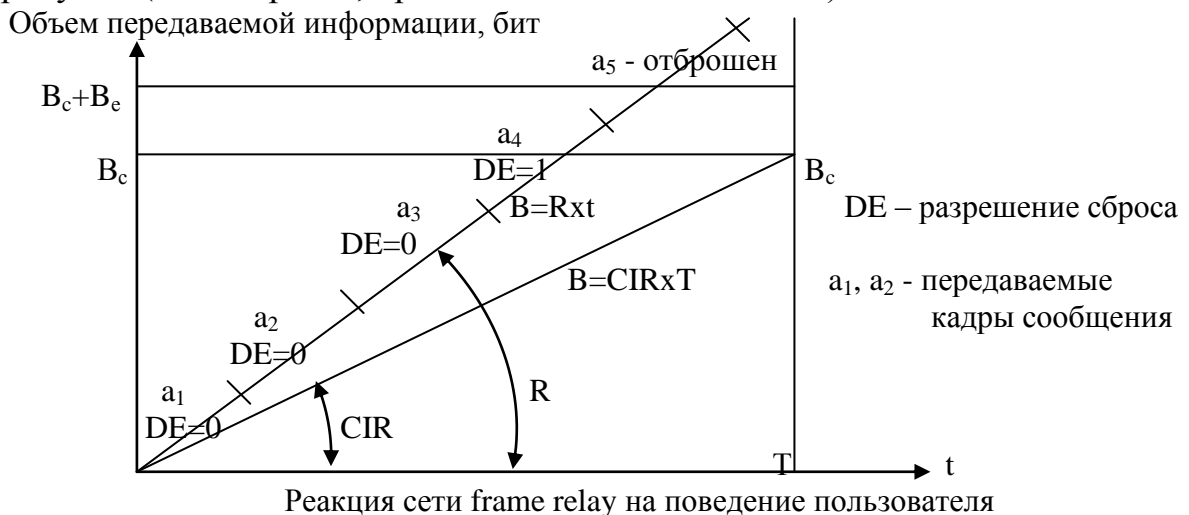
Значение CIR определяет  $V_c$  (Committed Burst Size) – согласованный объем нагрузки, то есть **максимальное количество** байтов, которое сеть будет передавать от этого пользователя за **интервал** времени  $T$ . Согласованный объем нагрузки  $V_c$  определяется формулой:

$$V_c = T \times \text{CIR}.$$

Кроме того, в данной технологии вводится параметр  $V_e$  (Excess Burst Size) – **дополнительный** объем нагрузки, то есть максимальное количество байтов, которое сеть будет **пытаться** передать сверх установленного значения  $V_c$  за интервал времени  $T$ .

Параметры QoS, связанные с **задержками и вариациями задержек**, стандартами frame relay **не оговариваются**, так как изначально технология разрабатывалась только для передачи трафика, **не чувствительного к задержкам**.

Соотношение между параметрами CIR,  $V_c$ ,  $V_e$  и  $T$  иллюстрирует рисунок ( $R$  – скорость, примененная пользователем).



Согласованная **скорость** передачи данных является основным параметром, по которому абонент и сеть заключают соглашение при установлении виртуального соединения.

Условия соглашения проверяются на контрольном интервале времени  $T$ . За этот интервал средняя скорость передачи данных пользователем не должна превосходить CIR.

Если пользователь нарушает соглашение, то сеть не гарантирует доставку кадра и помечает этот кадр признаком DE (Discard Eligibility – разрешение сброса), равным 1, то есть как кадр, разрешенный для удаления. 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 рисунке 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  $a_1, a_2$  и  $a_3$  доставили в сеть данные, суммарный объем которых не превысил порог  $V_c$ , поэтому эти кадры ушли дальше транзитом с признаком  $DE=0$ . Данные кадра  $a_4$ , прибавленные к кадрам  $a_1, a_2$  и  $a_3$ , уже превысили порог  $V_c$ , но еще не превысили порога  $V_c+V_e$ , поэтому кадр  $a_4$  также ушел дальше, но уже с **признаком разрешения** сброса. Данные кадра  $a_5$ , 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). Счетчик  $C$  подсчитывает поступившие от пользователя байты. 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, передача которых привела 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.

Возможны варианты с использованием только некоторых параметров качества обслуживания, например, с параметрами CIR и  $V_c$  (без  $V_e$ ). Этот вариант дает более качественное обслуживание, т.к. кадры никогда не отбрасываются коммутатором сразу. Если сеть не сталкивается с перегрузками, то кадры такого канала всегда доходят до конечного узла, даже если пользователь постоянно нарушает договор с сетью.

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.

В технологии Frame Relay определен еще **дополнительный** механизм управления кадрами. Это механизм **оповещения конечных** пользователей, что в коммутаторах сети возникли перегрузки (переполнение необработанными кадрами). Бит **прямой явной перегрузки** FECN (Forward Explicit Congestion Bit) извещает об этом **принимающую** сторону. На основании значения этого бита принимающая сторона должна 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 – маршрутизаторов, мультиплексоров и устройств сопряжения ООД с каналом.

Таким образом, разработчики Frame Relay учли оба направления снабжения **предупреждающей** информацией о переполнении сети.

Услуги Frame Relay обычно предоставляются теми же операторами, которые эксплуатируют сети X.25. Более того, большая часть производителей выпускает

коммутаторы, которые могут работать как по протоколам X.25, так и по протоколам Frame Relay.

Frame Relay предоставляет быстрые транспортные услуги, доставляя кадры в узел назначения *без гарантий*. Если кадры теряются, то сеть Frame Relay не принимает никаких усилий для их восстановления. Поэтому полезная пропускная способность *прикладных* протоколов при работе через сети Frame Relay будет зависеть от *качества каналов* и методов восстановления пакетов на уровнях стека, расположенного *выше* протокола Frame Relay. Если *каналы хорошие*, то кадры будут теряться и искажаться *редко*, так что скорость восстановления пакетов протоколом TCP будет вполне приемлема. Если же кадры искажаются и теряются часто, то полезная пропускная способность в сети *может упасть в десятки раз*.

Поэтому сети Frame Relay следует применять только при наличии на магистральных каналах волоконно-оптических кабелей. Каналы доступа могут быть и на витых парах. 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.

#### **4.4 Технология ATM**

В начале 90-х гг. для высокоскоростных сетей с интеграцией услуг была предложена *новая технология асинхронного режима передачи* – **ATM** (Asynchronous Transfer Mode) – пакеты постоянной длительности; скорость передачи от 155 до 10 Гбит/с – для больших, глобальных сетей, т.е. ATM изначально ориентировалась на системы передачи СЦИ.

В отличие от ранее рассмотренных сетей ПД, технология ATM разрабатывалась как единая *универсальная транспортная* система для передачи не только *компьютерного* но и *мультимедийного* (голос, видео) трафика, чувствительного к задержкам в сети. Для каждого вида трафика должно обеспечиваться требуемое качество обслуживания QoS.

Технология ATM – типичная технология *глобальных сетей*, основанная на технике *виртуальных каналов*. *Особенности* же технологии ATM 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 коммутационном оборудовании компьютерного и мультимедийного трафика таким образом, чтобы каждый тип трафика получил требуемый уровень обслуживания.

Сложность совмещения компьютерного и мультимедийного трафиков с диаметрально противоположными характеристиками хорошо видна из рисунка.



Компьютеры посылают пакеты в сеть в случайные моменты времени. При этом компьютерная информация:

- имеет ярко выраженный **асинхронный и пульсирующий** характер;
- **мало чувствительна** к величине и колебаниям **задержки** в сети;
- **высоко чувствительна к потерям** данных, так как без утраченных данных обойтись нельзя, и их необходимо **восстановить** путем повторной передачи.

Мультимедийный трафик, передающий, например, голос или изображение, характеризуется:

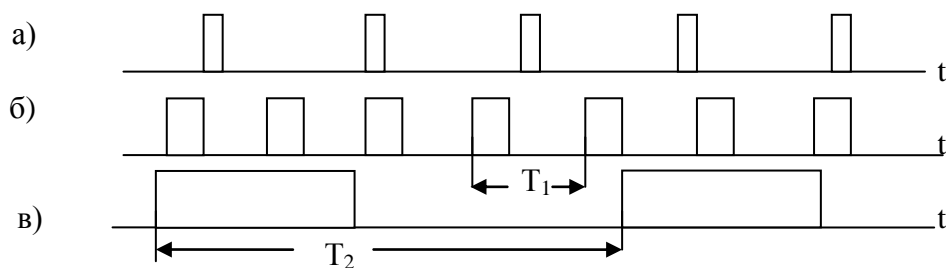
- **низким коэффициентом** пульсаций;
- **высокой чувствительностью к задержкам** передачи данных (отражающихся на качестве воспроизводимого непрерывного сигнала);
- **низкой чувствительностью к потерям данных** (из-за инерционности физических процессов восприятия потерю отдельных замеров голоса или кадров изображения можно компенсировать сглаживанием на основе анализа предыдущих и последующих значений принимаемого сигнала).

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 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) в течение  $(4500 \times 8 / 2 \times 10^6) = 18$  мс. При совмещении трафиков это соответствует задержке передачи для  $18 \times 10^{-3} / 125 \times 10^{-6} = 144$  отсчетов голоса, что приведет к нарушению естественности передачи речи.

Чем **меньше размер** пакета и чем **выше частота** следования пакетов, тем **легче** имитировать услуги каналов **с постоянной битовой скоростью**. Колебания времени задержки сигналов в сети с пакетной передачей пропорциональны периоду следования сетевых пакетов (см. рисунок).



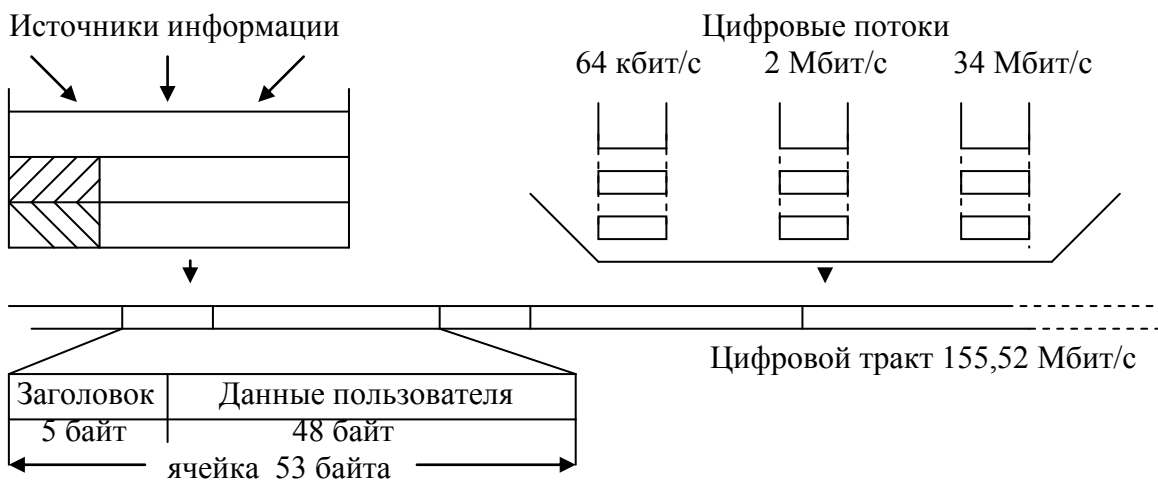


- а – сигнал с постоянной битовой/байтовой скоростью;  
 б – сетевые пакеты малой длительности и высокой частотой следования;  
 в – сетевые пакеты большой длительности и низкой частотой следования.

Передача сигналов пакетами с различной частотой следования  
 (при одинаковой номинальной пропускной способности сетевого канала)

При отказе от **жестко синхронизированных** временных интервалов между поступающими данными и передаваемыми сетевыми пакетами, принципиально **невозможно** обеспечить **идеальную** синхронность, но чем **меньше** размер пакета, тем **легче** добиться квазисинхронной передачи речевого или видео трафика.

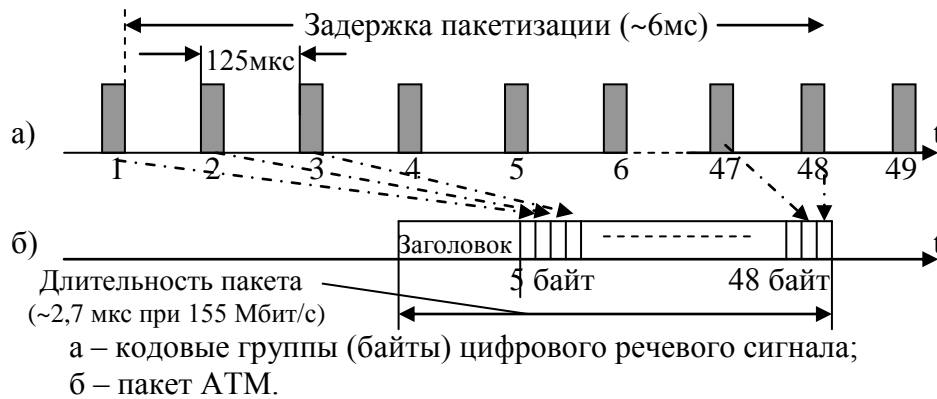
Подход, реализованный в технологии АТМ, состоит в передаче любого вида трафика – компьютерного, телефонного или видео – пакетами **фиксированной и очень маленькой** длины **в 53 байт**). Пакеты АТМ называют ячейками (cell). **Поле данных** ячейки занимает **48 байт**, а **заголовок** – **5 байт**. Потоки пакетов (ячеек) фиксированной длины поступают от разных пользователей и асинхронно мультиплексируются в едином цифровом тракте (см. рисунок).



Формирование ячеек в технологии АТМ

Размер ячейки влияет на длительность **ожидания передачи сигнала** и, что более существенно, на **задержку пакетизации**. Рассмотрим передачу речевого трафика, кодовые группы (байты) которого должны передаваться каждые 125 мкс (см. рисунок). Для пакета, состоящего из 53 байт, при скорости 155 Мбит/с время **передачи**

кадра на выходной порт составляет  $(53 \times 8 / 155 \times 10^6 = 2,74 \times 10^{-6})$  менее 3 мкс, что не скажется на качестве передачи речи.



Объединение байтов цифрового речевого сигнала в пакет АТМ

**Задержка пакетизации** – это время, в течение которого первый отсчет голоса *ждет момента* окончательного формирования пакета и отправки его по сети. При размере поля данных в 48 байт одна ячейка АТМ переносит по конкретному адресу 48 отсчетов голоса, которые формируются с интервалом в 125 мкс. Поэтому *первый отсчет должен ждать* примерно 6 мс (см. рисунок), прежде чем ячейка будет отправлена по сети. Именно по этой причине при определении параметров технологии АТМ телефонисты боролись за *уменьшение* размера ячейки. Компьютерные специалисты стремились *увеличить* поле данных до 64 байт – для повышения полезной скорости передачи данных.

Главный недостаток технологии TDM, которую также называют технологией синхронной передачи STM (Synchronous Transfer Mode), заключается в невозможности динамично *перераспределять* пропускную способность объединенного канала между подканалами. В те периоды времени, когда по подканалу *не передаются* пользовательские данные, объединенный подканал *все равно передает* байты этого подканала, заполненные нулями.

Попытки загрузить периоды простоя подканалов приводят к необходимости введения заголовка для данных каждого подканала. В системах *статистического уплотнения* STDM (Statistical TDM) периоды простоя могут заполняться пульсациями трафика других подканалов, при этом вводятся подзаголовки, содержащие номер подканала. Наличие адреса у каждого пакета позволяет передавать его асинхронно, так как местоположение его относительно пакетов 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 АТМ совмещает в себе подходы *двух технологий* – коммутации пакетов и коммутации каналов. От первой она взяла передачу данных в виде *адресуемых пакетов*, а от второй – технику *виртуальных каналов* и использование пакетов небольшого *фиксированного* размера, в результате чего *задержки* в сети становятся более *предсказуемыми*.

Асинхронный метод переноса АТМ характеризуется следующими основными особенностями:

- *отсутствием защиты от ошибок* и управления потоком данных на уровне канала;
- ориентацией на *соединение*;
- *ограниченным количеством функций*, которые несет заголовок пакета АТМ;
- относительно *небольшой длиной* информационной части ячейки.

Стандарт АТМ не вводит *свои спецификации на реализацию физического уровня*. Здесь он *основывается на технологии SDH*, принимая ее иерархию скоростей. В соответствии с этим начальная скорость доступа пользователя сети – это скорость STM-1 155 Мбит/с.

Магистральное оборудование АТМ работает и на более высоких скоростях STM-4 622 Мбит/с и STM-16 2,5 Гбит/с. Существуют также физические интерфейсы T1/E1, 4B5B на скорости 100 Мбит/с (FDDI). Для скорости 155,52 Мбит/с определен специальный sell-based физический уровень, основанный на ячейках, а не на циклах SDH.

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 для глобальных сетей это одномодовый кабель, а для локальных сетей – как одномодовый, так и многомодовый (в зависимости от скорости и расстояния).

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.

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 на установление соединения, как и в случае IP-адресов.

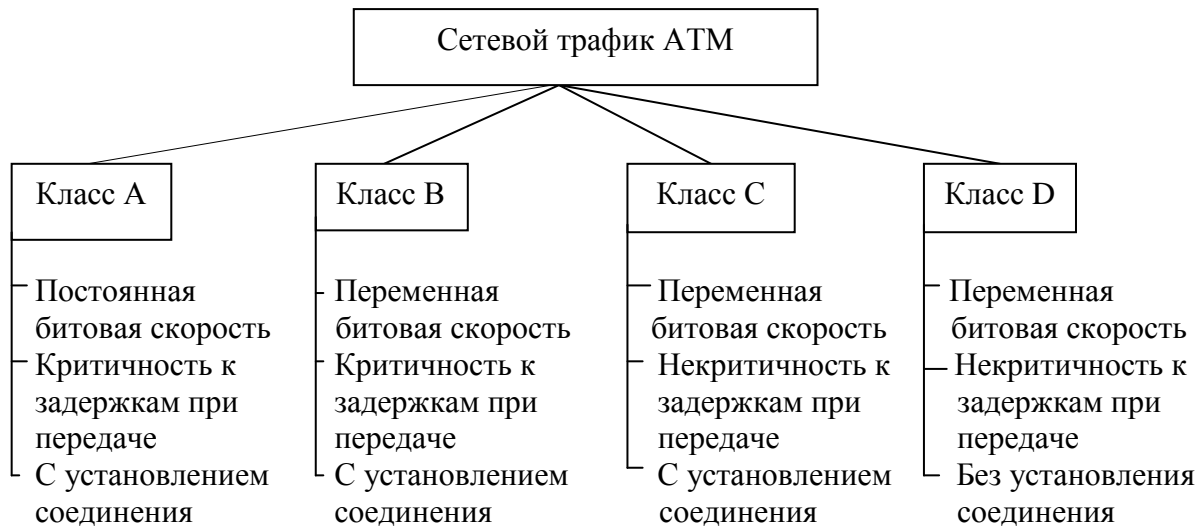
*Коммутация* пакетов происходит на основе *идентификатора виртуального канала* (Virtual Channel Identifier), который *назначается* соединению при его *установлении* и уничтожается при разрыве соединения.

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 бита*, что вполне достаточно для обслуживания большого количества виртуальных соединений каждым портом коммутатора глобальной сети АТМ.

Выбор для передачи данных любого типа небольшой ячейки фиксированного размера создает необходимые предпосылки для *совмещения* разнородного трафика в одной сети. Технология АТМ развивает идеи *заказа пропускной способности* и *качества обслуживания*, реализованные в технологии frame relay.

Разработчики технологии АТМ выделили **4 основные класса трафика**, для которых разработали различные механизмы поддержания качества обслуживания.

В последующем число классов обслуживания было увеличено.



Классы обслуживания в технологии АТМ

Примеры трафика класса А – речевые и видеосигналы.

Примеры трафика класса В – компрессированные речевые и видеосигналы.

Примеры трафика класса С – компьютерный трафик сетей, в которых конечные узлы работают по протоколам **с установлением соединений**: frame relay, X.25, TCP-IP.

Примеры трафика класса D – компьютерный трафик сетей, в которых конечные узлы работают по протоколам **без установления соединений**: UDP-IP, Ethernet.

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. Для трафика класса В – **среднюю скорость**, максимально возможную скорость и максимально возможную **пульсацию**. Для **голосового** трафика необходимо количественно задать **верхние границы задержки** и **вариации задержки** ячеек.

В технологии АТМ поддерживается следующий набор основных количественных параметров:

- максимальная скорость передачи данных;
- средняя скорость передачи данных;
- минимальная скорость передачи данных;
- максимальный размер пульсации;
- доля потерянных ячеек;
- задержка передачи ячеек;

- вариация задержки ячеек.

Соглашение между приложением и сетью ATM 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 способностью** трафика могут указываться параметры **задержки** ячеек, а также **доля потерянных** ячеек. В сети frame relay реализуется лишь **один** класс трафика (пульсирующий компьютерный трафик), и он характеризуется **только параметрами пропускной способности**.

В ATM существует **уровень адаптации AAL** (ATM Adaptation Level) – набор протоколов, преобразующих пользовательские сообщения в ячейки ATM нужного формата. Довольно условно их можно отнести к протоколам транспортного уровня модели ВОС, например, протоколам TCP или UDP.

При передаче пользовательского трафика **протоколы AAL** работают только в **конечных узлах** сети.

Каждый протокол уровня AAL обрабатывает пользовательский уровень определенного класса.

Протокол адаптации имеет два подуровня:

- подуровень **конвергенции** (обеспечение синхронизации передачи и приема, восстановление ошибок, контроль целостности пакета);
- подуровень **сегментации** (разбиение на ячейки и отправка в сеть).

Заголовки AAL размещаются в **поле данных** ячейки, как и полагается протоколу более высокого уровня.

В целях ускорения работы коммутаторов сети ни один из протоколов ATM **не занимается восстановлением** потерянных или искаженных данных. Считается, что такие события будут редкими. Максимум, что делает протокол AAL – это уведомляет конечный узел о таком событии. Восстановление потерянных данных отводится протоколам верхнего уровня, не входящим в стек протоколов технологии ATM.

**Протокол AAL1** – для трафика класса А **с постоянной битовой скоростью** – для цифровой речи и видео, **чувствительным к временным задержкам**. Заголовок AAL занимает в **поле данных** ячейки ATM 1 или 2 байта. В этом заголовке один байт отводится для нумерации ячеек, чтобы приемная сторона могла судить, все ли посланные ячейки дошли до нее или нет. При отправке голосового трафика **временная отметка** каждого отсчета **известна**, т.к. они следуют друг за другом с интервалом в 125 мкс, поэтому при потере ячейки можно скорректировать временную привязку байт следующей ячейки, сдвинув ее на 125х46 мкс.

**Протокол AAL3/4** - для компьютерных сетей **с переменной скоростью бит**. По этому протоколу ячейки не теряются, но могут задерживаться коммутатором. Каждая ячейка **нумеруется** и снабжается контрольной суммой. При искажениях или потерях ячейка не восстанавливается

Приложение по определенному интерфейсу **заказывает** требуемую услугу, **определяя тип трафика**, его параметры, а также **требуемые параметры качества**.

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



уровнем качества обслуживания. Протокол АТМ выполняет коммутацию по номеру виртуального соединения.

*Адресом* конечного узла в коммутаторах АТМ является 20-байтный адрес. Кроме адресной части *пакет установления соединения*, с помощью которого конечный узел запрашивает установление виртуального соединения, включает также части, описывающие *параметры трафика и требования качества* обслуживания. 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 запроса соединения дальше в соответствии с адресом назначения и таблицей маршрутизации, а если нет, о запрос *отвергается*. Таким образом, коммутаторы должны решать довольно сложные задачи при организации виртуальных каналов. В то же время после установления соединения обработка пакетов в коммутаторах считается достаточно простой и может осуществляться на очень высоких скоростях.

АТМ поддерживает существующие службы передачи данных X.25, Frame Relay.

Хотя технология АТМ разрабатывалась для одновременной передачи данных компьютерных и телефонных сетей, *передача голоса* по сетям АТМ составляет *всего 5% от общего трафика*, передача видеoinформации – 10%, а 85% приходится на трафик компьютерных сетей.

Сеть АТМ более выгодна для соединения IP-маршрутизаторов, чем выделенные каналы СЦИ, т.к. виртуальный канал АТМ может динамически *перераспределять* свою пропускную способность между *пульсирующим трафиком* клиентов IP –сетей. Поэтому *при дефиците пропускной способности магистральных линий* методы АТМ имеют определенные преимущества.

Технология АТМ представляет наиболее полный, последовательный этап развития *традиционных* идей построения глобальных сетей – использования виртуальных каналов, минимизации операций преобразования пакетов в промежуточных узлах, учета особенностей передачи разнородного трафика, гарантии определенных параметров передачи по выбору пользователя.

Однако стремление к универсальности, жесткая структура сети и система адресации, достаточно сложная маршрутизация в технологии АТМ существенно усложнили аппаратную реализацию и замедлили широкое внедрение этой технологии на телекоммуникационных сетях.

Соперничество между АТМ и бурно развивающимися методами глобального Интернета очевидно будет выиграно более гибкой и динамичной технологией.