

## 13. ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

### 13.1. Основные сведения о телекоммуникационных системах

Основная функция телекоммуникационных систем (ТКС) заключается в организации оперативного и надежного обмена информацией между абонентами, а также в сокращении затрат на передачу данных. Главным показателем эффективности функционирования ТКС — время доставки информации. Он зависит от ряда факторов: структуры сети связи, пропускной способности линий связи, способов соединения каналов связи между взаимодействующими абонентами, протоколов информационного обмена, методов доступа абонентов к передающей среде, методов маршрутизации пакетов и др.

Характерные особенности ТСС:

- разнотипность каналов связи — от проводных каналов тональной частоты до оптоволоконных и спутниковых;
- ограниченность числа каналов связи между удаленными абонентами, по которым необходимо обеспечить обмен данными, телефонную связь, видеосвязь, обмен факсимильными сообщениями;
- наличие такого критически важного ресурса, как пропускная способность каналов связи.

Следовательно, ТСС — это географически распределенная сеть, объединяющая в себе функции традиционных сетей передачи данных (СПД), телефонных сетей и предназначенная для передачи трафика различной природы, с разными вероятностно-временными характеристиками.

**Типы сетей, линий и каналов связи.** В ТКС используются сети связи — телефонные, телеграфные, телевизионные, спутниковые. В качестве линий связи применяются: кабельные (обычные телефонные линии связи, витая пара, коаксиальный кабель, волоконно-оптические линии связи (ВОЛС), или световоды), радиорелейные и радиолинии.

Среди **кабельных линий** связи наилучшие показатели имеют световоды. Основные их преимущества: высокая пропускная способность (сотни мегабит в секунду), обусловленная использованием электромагнитных волн оптического диапазона; нечувствительность к внешним электромагнитным полям и отсутствие собственных электромагнитных излучений, низкая трудоемкость прокладки оптического кабеля; искро-, взрыво- и пожаробезопасность; повышенная устойчивость к агрессивным средам; небольшая удельная масса (отношение погонной массы к полосе пропускания); различные области применения (создание магистралей коллективного доступа, систем связи ЭВМ с периферийными устройствами локальных сетей, в микропроцессорной технике и т.д.).

Недостатки ВОЛС: передача сигналов осуществляется только в одном направлении, подключение к световоду дополнительных ЭВМ значительно ослабляет сигнал, необходимые для световодов высокоскоростные модемы пока еще дороги, световоды, соединяющие ЭВМ, должны снабжаться преобразователями электрических сигналов в световые и обратно.

В ТКС нашли применение следующие **типы каналов связи** (или режимов передачи):

- симплексные;
- полудуплексные;

- дуплексные.

**Коммутируемые и выделенные каналы связи.** В ТКС (ТСС) различают выделенные (некоммутируемые) каналы связи и с коммутацией на время передачи информации по этим каналам.

При использовании выделенных каналов связи приемопередающая аппаратура узлов связи постоянно соединена между собой. Этим обеспечивается высокая степень готовности системы к передаче информации, более высокое качество связи, поддержка большого объема трафика. Из-за сравнительно больших расходов на эксплуатацию сетей с выделенными каналами связи их рентабельность достигается только при условии достаточно полной загрузки каналов.

Для коммутируемых каналов связи, создаваемых только на время передачи фиксированного объема информации, характерны высокая гибкость и сравнительно небольшая стоимость (при малом объеме трафика). Недостатки таких каналов: потери времени на коммутацию (на установление связи между абонентами), возможность блокировки из-за занятости отдельных участков линии связи, более низкое качество связи, большая стоимость при значительном объеме трафика.

**Аналоговое и цифровое кодирование цифровых данных.** Пересылка данных от одного узла ТКС к другому осуществляется последовательной передачей всех битов сообщения от источника к пункту назначения. Физически информационные биты передаются в виде аналоговых или цифровых электрических сигналов. *Аналоговыми* называются сигналы, которые могут представлять бесчисленное количество значений некоторой величины в пределах ограниченного диапазона. *Цифровые (дискретные)* сигналы могут иметь одно значение или конечный набор значений. При работе с аналоговыми сигналами для передачи закодированных данных используется аналоговый несущий сигнал синусоидальной формы, а при работе с цифровыми сигналами — двухуровневый дискретный сигнал. Аналоговые сигналы менее чувствительны к искажению, обусловленному затуханием в передающей среде, зато кодирование и декодирование данных проще осуществляется для цифровых сигналов.

*Аналоговое кодирование* применяется при передаче цифровых данных по телефонным (аналоговым) линиям связи, доминирующим в региональных и глобальных ТВС и изначально ориентированным на передачу акустических сигналов (речи). Перед передачей цифровые данные, поступающие обычно из ЭВМ, преобразуются в аналоговую форму с помощью модулятора-демодулятора (модема), обеспечивающего цифро-аналоговый интерфейс.

Возможны три способа преобразования цифровых данных в аналоговую форму или три метода модуляции:

- амплитудная модуляция, когда меняется только амплитуда несущей синусоидальных колебаний в соответствии с последовательностью передаваемых информационных битов: например, при передаче единицы амплитуда колебаний устанавливается большой, а при передаче нуля — малой либо сигнал несущей вообще отсутствует;
- частотная модуляция, когда под действием модулирующих сигналов (передаваемых информационных битов) меняется только частота несущей синусоидальных колебаний: например, при передаче нуля — низкая, а при передаче единицы — высокая;

- фазовая модуляция, когда в соответствии с последовательностью передаваемых информационных битов изменяется только фаза несущей синусоидальных колебаний: при переходе от сигнала 1 к сигналу 0 или наоборот фаза меняется на  $180^\circ$ .

Передающий модем преобразует (модулирует) сигнал несущей синусоидальных колебаний (амплитуду, частоту или фазу) таким образом, чтобы он мог нести модулирующий сигнал, т.е. цифровые данные от ЭВМ или терминала. Обратное преобразование (демодуляция) осуществляется принимающим модемом. В соответствии с реализуемым методом модуляции различают модемы с амплитудной, частотной и фазовой модуляцией. Наибольшее распространение получили частотная и амплитудная модуляции.

Аналоговый способ передачи цифровых данных обеспечивает широкополосную передачу путем использования в одном канале сигналов различных несущих частот. Это обеспечивает взаимодействие большого количества абонентов (каждая пара абонентов работает на своей частоте).

**Цифровое кодирование** цифровых данных выполняется напрямую, путем изменения уровней сигналов, несущих информацию.

Например, если в ЭВМ цифровые данные представляются сигналами уровней: 5В — для кода 1 и 0,2 В — для кода 0, то при передаче этих данных в линию связи уровни сигналов преобразуются соответственно в +12 В и в -12 В. Такое кодирование осуществляется, в частности, с помощью асинхронных последовательных адаптеров RS-232-C при передаче цифровых данных от одного компьютера к другому на небольшие (десятки и сотни метров) расстояния.

Цифровой способ передачи является узкополосным, цифровые данные передаются в их естественном виде на единой частоте.

**Синхронизация элементов ТКС.** Синхронизация — это часть протокола связи. В процессе синхронизации связи обеспечивается синхронная работа аппаратуры приемника и передатчика, при которой приемник осуществляет выборку поступающих информационных битов (т.е. замер уровня сигнала в линии связи) строго в моменты их прихода. Синхросигналы настраивают приемник на передаваемое сообщение еще до его прихода и поддерживают синхронизацию приемника с приходящими битами данных.

В зависимости от способов решения проблемы синхронизации различают синхронную передачу, асинхронную передачу и передачу с автоподстройкой.

**Синхронная передача** отличается наличием дополнительной линии связи (кроме основной, по которой передаются данные) для передачи синхронизирующих импульсов (СИ) стабильной частоты. Каждый СИ подстраивает приемник. Выдача битов данных в линию связи передатчиком и выборка информационных сигналов приемником производятся в моменты появления СИ. В синхронной передаче синхронизация осуществляется весьма надежно, однако это достигается дорогой ценой — необходимостью дополнительной линии связи.

**Асинхронная передача** не требует дополнительной линии связи. Передача данных осуществляется небольшими блоками фиксированной длины (обычно байтами). Синхронизация приемника достигается тем, что перед каждым передаваемым байтом посылается дополнительный бит — стартбит, а после переданного байта — еще один дополнительный бит — стопбит. Для синхронизации

используется старт-бит. Такой способ синхронизации может использоваться только в системах с низкими скоростями передачи данных.

**Передача с автоподстройкой**, также не требующая дополнительной линии связи, применяется в современных высокоскоростных системах передачи данных. Синхронизация достигается за счет использования самосинхронизирующих кодов (СК). Кодирование передаваемых данных с помощью СК заключается в том, чтобы обеспечить регулярные и частые изменения (переходы) уровней сигнала в канале. Каждый переход уровня сигнала от высокого к низкому или наоборот используется для подстройки приемника. Лучшими считаются такие СК, которые обеспечивают переход уровня сигнала не менее одного раза в течение интервала времени, необходимого на прием одного информационного бита. Чем чаще переходы уровня сигнала, тем надежнее осуществляется синхронизация приемника и увереннее производится идентификация принимаемых битов данных.

Наиболее распространенными являются следующие самосинхронизирующие коды: NRZ-код (код без возвращения к нулю), RZ-код (код с возвращением к нулю), манчестерский код, биполярный код с поочередной инверсией уровня (например, код AMI). На рис. 13.1 представлены схемы кодирования сообщения 0101100 с помощью этих СК.

Для характеристики и сравнительной оценки СК используются следующие показатели:

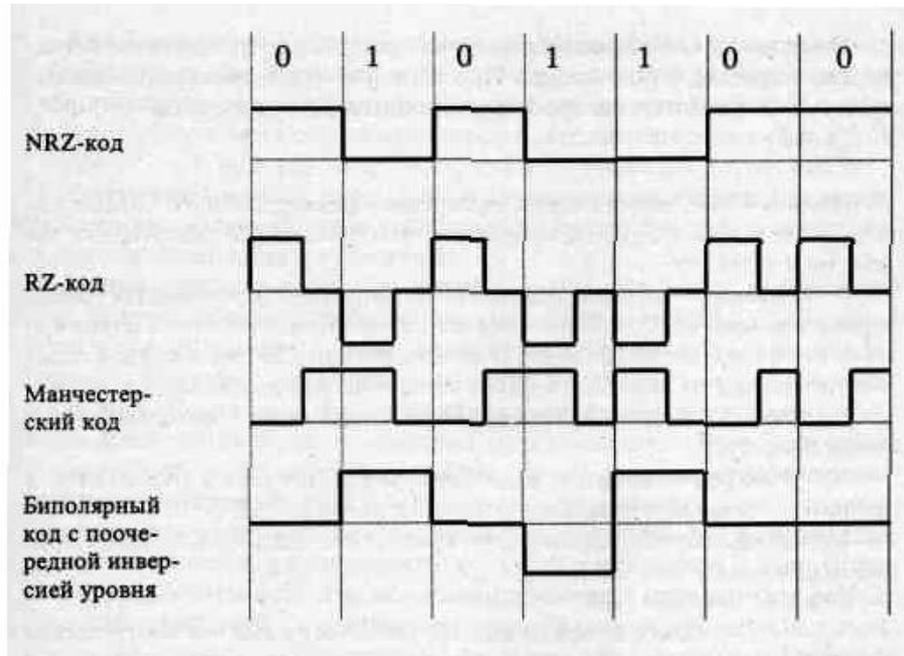
- уровень (качество) синхронизации;
- надежность (уверенность) распознавания и выделения принимаемых информационных битов;
- требуемая скорость изменения уровня сигнала в линии связи при использовании СК, если пропускная способность линии задана;
- сложность (и, следовательно, стоимость) оборудования, реализующего СК.

*NRZ-код* отличается простотой кодирования и низкой стоимостью при его реализации.

Однако при передаче серий одноименных битов (единиц или нулей) уровень сигнала остается неизменным для каждой серии, что существенно снижает качество синхронизации и надежность распознавания принимаемых битов (может произойти рассогласование таймера приемника по отношению к поступающему сигналу и несвоевременный опрос линии). Для этого кода имеют место соотношения:

$$V_1 \leq 2V_2; \quad V_{1,\max} = 2V_2,$$

где:  $V_1$ , — скорость изменения уровня сигналов в линии связи;  
 $V_2$  — пропускная способность линии связи (бит /с).



**Рис. 13.1.** Схемы кодирования сообщения с помощью самосинхронизирующих кодов

**RZ-код** отличается тем, что за время передачи одного информационного бита уровень сигнала меняется дважды независимо от того, передаются ли серии одноименных битов или поочередно изменяющихся битов. Этот код обладает хорошими свойствами синхронизации, но стоимость его реализации довольно высокая, так как необходимо обеспечить соотношение  $V_1 = 2V_2$ .

**Манчестерский код** обеспечивает изменение уровня сигнала при представлении каждого бита, а при передаче серий одноименных битов — двойное изменение. Обладает хорошими синхронизирующими свойствами. Применяется в технике записи информации на магнитных лентах, при передаче информации по коаксиальным и оптоволоконным линиям. Соотношение скоростей для этого кода такое:

$$V_1 \leq V_2; V_{1,max} = V_2.$$

• **Биполярный код** обладает хорошими синхронизирующими свойствами при передаче серий единиц. При передаче нулей синхронизация отсутствует. Сравнительно прост в реализации. Для этого кода  $V_1 \leq V_2; V_{1,max} = V_2$

**Спутниковые сети связи.** Появление спутниковых сетей связи вызвало такую же революцию в передаче информации, как революция, вызванная изобретением телефона.

Первый спутник связи был запущен в 1958 г., а в 1965 г. был запущен первый коммерческий спутник связи (оба — в США). Эти спутники были пассивными, позже на спутниках стали устанавливать усилители и приемопередающую аппаратуру.

В настоящее время спутники связи запускаются на высоту 22 300 миль и находятся на геосинхронной (геостационарной) орбите, плоскость которой параллельна плоскости экватора. Линейная скорость вращения спутника вокруг

Земли равна 6879 миль/ч, что обеспечивает уравнивание гравитационного притяжения Земли и стационарность вращения спутника по отношению к вращению Земли. Спутник как бы «зависает» над неподвижной точкой поверхности Земли. При таком положении спутника антенна наземной станции слежения может находиться в относительно неподвижном состоянии. Геосинхронные спутники часто запускаются группами по три спутника. Разнесенные друг от друга на 120°, они обеспечивают охват почти всей поверхности Земли. Темпы распространения спутниковой связи очень высокие. К 2001 г. планируется создать общемировую интерактивную сеть передачи мультимедиа-информации.

В спутниковых системах связи используются антенны СВЧ - диапазона частот для приема радиосигналов от передающих наземных станций и для ретрансляции этих сигналов обратно на наземные станции. Большинство спутников используют гигагерцовый диапазон 6/4 ГГц, некоторые работают в диапазоне 14/12 ГГц (первая цифра — частота работы по звену «Земля — спутник», а вторая — частота работы по звену «спутник — Земля»). Способность спутника принимать и передавать сигналы обеспечивается специальным устройством — транспондером. Взаимодействие между абонентами осуществляется по цепи: абонентская станция (отправитель информации) — передающая наземная радиотелеметрическая станция (РТС) — спутник — приемная наземная радиотелеметрическая станция — абонентская станция (получатель информации). Одна наземная РТС обслуживает группу близлежащих АС.

Для управления передачей данных между спутником и наземными РТС используются следующие способы.

**1. Обычное мультиплексирование** — с частотным и временным разделением. В первом случае весь частотный спектр радиоканала разделяется на подканалы, которые распределяются между пользователями для передачи любого трафика. Издержки такого способа: при нерегулярном ведении передач подканалы используются нерационально; значительная часть исходной полосы пропускания канала используется в качестве разделительной полосы для предотвращения нежелательного влияния подканалов друг на друга. Во втором случае весь временной спектр делится между пользователями, которые по своему усмотрению распоряжаются предоставленными временными квантами (слотами). Здесь также возможно простаивание канала из-за нерегулярного его использования.

**2. Обычная дисциплина «первичный/вторичный» с использованием методов и средств опроса/выбора.** В качестве первичного органа, реализующего такую дисциплину управления спутниковой связью, чаще выступает одна из наземных РТС, а реже — спутник. Цикл опроса и выбора занимает значительное время, особенно при наличии в сети большого количества АС. Поэтому время реакции на запрос пользователя может оказаться для него неприемлемым.

**3. Дисциплина управления типа «первичный/вторичный» без опроса с реализацией метода множественного доступа с квантованием времени (ТДМА).** Здесь слоты назначаются первичной РТС, называемой эталонной. Принимая запросы от других РТС, эталонная станция в зависимости от характера трафика и занятости канала удовлетворяет эти запросы путем назначения станциям конкретных слотов для передачи кадров. Такой метод широко используется в коммерческих спутниковых сетях.

**4. Равноранговые дисциплины управления.** Для них характерным является то, что все пользователи имеют равное право доступа к каналу и между ними происходит соперничество за канал. В начале 1970-х гг. Н. Абрамсон из Гавайского университета предложил метод эффективного соперничества за канал между некоординируемыми пользователями, названный системой АЛОНА. Существует несколько вариантов этой системы: система, реализующая метод случайного доступа (случайная АЛОНА); равноранговая приоритетная слотовая система (слотовая АЛОНА) и др.

К основным преимуществам спутниковых сетей связи относятся следующие:

- большая пропускная способность, обусловленная работой спутников в широком диапазоне гигагерцовых частот. Спутник может поддерживать несколько тысяч речевых каналов связи. Например, один из используемых в настоящее время коммерческих спутников имеет 100 транспондеров, каждый из которых может передавать 48 Мбит/с;

- обеспечение связи между станциями, расположенными на очень больших расстояниях, и возможность обслуживания абонентов в самых труднодоступных точках;

- независимость стоимости передачи информации от расстояния между взаимодействующими абонентами (стоимость зависит от продолжительности передачи или объема передаваемого трафика);

- возможность построения сети без физически реализованных коммутационных устройств, обусловленная широкополосностью работы спутниковой связи. Эта возможность связана со значительным экономическим эффектом, который может быть получен по сравнению с использованием обычной неспутниковой сети, основанной на многочисленных физических линиях связи и коммуникационных устройствах. Недостатки спутниковых сетей связи:

- необходимость затрат средств и времени на обеспечение конфиденциальности передачи данных, на предотвращение возможности перехвата данных «чужими» станциями;

- наличие задержки приема радиосигнала наземной станцией из-за больших расстояний между спутником и РТС. Это может вызвать проблемы, связанные с реализацией канальных протоколов, а также временем ответа;

- возможность взаимного искажения радиосигналов от наземных станций, работающих на соседних частотах;

- подверженность сигналов на участках «Земля — спутник» и «спутник — Земля» влиянию различных атмосферных явлений. Для разрешения проблем с распределением частот в диапазонах 6/4 и 14/12 ГГц и размещением спутников на орбите необходимо активное сотрудничество многих стран, использующих технику спутниковой связи.

### **13.2. Коммутация в сетях**

Телефонная коммутация является жизненно важным элементом связи абонентских систем между собой и с центрами управления, обработки и хранения информации в сетях. Узлы сети подключаются к некоторому коммутирующему оборудованию, избегая таким образом необходимости создания специальных линий связи.

Далее рассматриваются различные методы коммутации, когда используются коммутируемые телефонные линии связи. Однако два и более конечных пункта сети могут соединяться выделенной линией, если между ними все время осуществляется связь с постоянной скоростью передачи. Выделенная линия соединяет два конечных пункта по двухточечной схеме. В случае же многоточечного подключения абонентов к выделенной линии ее ресурсы используются в режиме разделения. Организация связи в многоточечном режиме, обеспечивающем экономию на транспортных расходах, популярна в компьютерных сетях (особенно в ЛВС) из-за снижения затрат по сравнению с затратами при большом количестве монопольно используемых связных ресурсов в двухточечном режиме.

**Коммутируемой транспортной сетью** называется сеть, в которой между двумя (или более) конечными пунктами устанавливается связь по запросу. Примером такой сети является коммутируемая телефонная сеть.

Существуют следующие методы коммутации:

- коммутация цепей (каналов);
- коммутация с промежуточным хранением, в свою очередь разделяемая на коммутацию сообщений и коммутацию пакетов.

**Коммутация цепей.** При коммутации цепей (каналов) между связываемыми конечными пунктами на протяжении всего временного интервала соединения обеспечивается обмен в реальном масштабе времени, причем биты передаются с неизменной скоростью по каналу с постоянной полосой пропускания. Между абонентами устанавливается сквозной канал связи до начала передачи информации. Этот канал формируется из отдельных участков с одинаковой пропускной способностью. Прохождение отдельного сигнала вызова обеспечивается с помощью последовательного включения нескольких коммутационных устройств, размещаемых в центрах коммутации каналов (ЦКК). Каждое устройство резервирует за собой физическое соединение между одним входящим и одним исходящим каналами. Если при установлении сквозного канала связи занята вызываемая сторона или хотя бы одно из коммутационных устройств в цепочке прохождения сигнала вызова, последний будет блокироваться, и абонент, инициировавший вызов, должен спустя некоторое время его повторить.

Время установления сквозного канала связи обычно бывает большим из-за необходимости организации взаимодействия значительного числа устройств коммутации. После установления такого канала ЦКК выполняют минимальное число функций, хотя при этом может передаваться большой объем информации. Следовательно, при использовании метода коммутации цепей передача информации обеспечивается двумя основными составляющими в расходной части ресурсов: ресурсами для организации вызова и ресурсами для поддержания в ЦКК коммутационных устройств или для организации распределения временных каналов. Первая составляющая не зависит от объема передаваемой информации, а вторая — прямо пропорциональна интервалу времени, в течение которого происходит соединение.

В качестве недостатков метода коммутации цепей можно указать следующие:

- длительное время установления сквозного канала связи из-за возможного ожидания освобождения отдельных его участков;
- необходимость повторной передачи сигнала вызова из-за занятости

вызываемой стороны или какого-либо коммутационного устройства в цепочке прохождения этого сигнала (в связи с этим система, в которой реализуется метод коммутации цепей, относится к классу систем с потерей запросов на обслуживание);

- отсутствие возможности выбора скоростей передачи информации;
- возможность монополизации канала одним источником информации;
- наращивание функций и возможностей сети ограничено;
- не обеспечивается равномерность загрузки каналов связи (возможности по сглаживанию загрузки весьма ограничены). Преимущества метода коммутации цепей:

- отработанность технологии коммутации цепей (первое коммутационное устройство появилось еще в конце XIX в.);

- возможность работы в диалоговом режиме и в реальном масштабе времени;

- обеспечение как битовой прозрачности, так и прозрачности по времени независимо от числа ЦКК между абонентами;

- довольно широкая область применения (главным образом передача акустических сигналов).

**Коммутация с промежуточным хранением.** Отметим особенности всех методов коммутации с промежуточным хранением. Для них характерно, что заранее, до начала передачи информации, сквозной канал между отправителем и получателем не устанавливается. Вызываемый объект посредством набора номера или через выделенную линию связывается только с ближайшим узлом сети и передает ему информационные биты. В каждом узле имеется коммутатор, построенный на базе коммуникационной ЭВМ с запоминающим устройством (ЗУ). Передаваемая информация должна храниться в каждом узле по пути к пункту назначения, причем задержка в хранении, как правило, будет различной для узлов. Наличие ЗУ в промежуточных узлах связи предотвращает потерю передаваемой информации, вследствие чего системы, реализующие рассматриваемые методы коммутации, относятся к классу систем без потерь запросов на обслуживание. Одним из показателей этих методов является возможность согласования скоростей передачи данных между пунктами отправления и назначения, которое обеспечивается наличием в сети эффективных развязок, реализуемых созданием буферных ЗУ в узлах связи. Наконец, для сетей с промежуточным хранением обязательным требованием является битовая прозрачность. Требование же временной прозрачности, как правило, ими не гарантируется.

**Коммутация сообщений** была преобладающим методом передачи данных в 60—70-х гг. и до сих пор широко используется в некоторых областях (в электронной почте, электронных новостях, телеконференциях, телесеминарах). Как и все методы коммутации с промежуточным хранением, технология коммутации сообщений относится к технологии типа «запомнить и послать». Кроме того, технология коммутации сообщений обычно предусматривает отношение «главный — подчиненный». Коммутатор (коммуникационная ЭВМ) в центре коммутации сообщений (ЦКС) выполняет регистрацию и выбор при управлении входящими и исходящими потоками. Здесь не рассматриваются интерактивный режим и работа в реальном масштабе времени, однако данные через коммутатор могут передаваться на очень высокой скорости с соответствующим определением уровней приоритетов для различных типов потоков данных. Высокоприоритетные потоки задерживаются

в очереди на обслуживание на более короткое время по сравнению с низкоприоритетными потоками, что позволяет обеспечить интерактивные прикладные задачи.

Важно отметить, что при коммутации сообщений сообщение, независимо от его длины (разброс в длине сообщений может быть достаточно велик), целиком сохраняет свою целостность как единичный объект в процессе его прохождения от одного узла к другому вплоть до пункта назначения. Более того, транзитный узел не может начинать дальнейшую передачу части сообщения, если оно еще принимается. По своему влиянию на задержки это равноценно низкому уровню использования ресурсов сети.

Недостатки метода коммутации сообщений:

- необходимость реализации достаточно серьезных требований к емкости буферных ЗУ в узлах связи для приема больших сообщений, что обуславливается сохранением их целостности;
- недостаточные возможности по реализации диалогового режима и работы в реальном масштабе времени при передаче данных;
- выход из строя всей сети при отказе коммутатора, так как через него проходят все потоки данных (это характерно для структуры «главный — подчиненный»);
- коммутатор сообщений является потенциально узким местом по пропускной способности;
- каналы передачи данных используются менее эффективно по сравнению с другими методами коммутации с промежуточным хранением.

Преимущества метода:

- отсутствие необходимости в заблаговременном (до начала передачи данных) установлении сквозного канала связи между абонентами;
- возможность формирования маршрута из отдельных участков с различной пропускной способностью;
- реализация различных систем обслуживания запросов с учетом их приоритетов;
- возможность сглаживания пиковых нагрузок путем запоминания низкоприоритетных потоков в периоды этих нагрузок;
- отсутствие потерь запросов на обслуживание.

**Коммутация пакетов**, появившаяся в 70-х гг., сочетает в себе преимущества коммутации каналов и коммутации сообщений. Ее основные цели: обеспечение полной доступности сети и приемлемого времени реакции на запрос для всех пользователей, сглаживание асимметричных потоков между многими пользователями, обеспечение мультиплексирования возможностей каналов связи и портов компьютеров сети, рассредоточение критических компонентов (коммутаторов) сети.

При коммутации пакетов пользовательские данные (сообщения) перед началом передачи разбиваются на короткие пакеты фиксированной длины. Каждый пакет снабжается протокольной информацией: коды начала и окончания пакета, адреса отправителя и получателя, номер пакета в сообщении, информация для контроля достоверности передаваемых данных в промежуточных узлах связи и в пункте назначения. Будучи независимыми единицами информации, пакеты,

принадлежащие одному и тому же сообщению, могут передаваться одновременно по различным маршрутам в составе дейтаграмм. Управление передачей и обработкой пакетов в узлах связи осуществляется центрами коммутации пакетов (ЦКК) с помощью компьютеров. Длительное хранение пакетов в ЦКК не предполагается, поэтому пакеты доставляются в пункт назначения с минимальной задержкой, где из них формируется первоначальное сообщение.

В отличие от коммутации сообщений технология коммутации пакетов позволяет:

- увеличить количество подключаемых станций (терминалов), так как здесь больше коммутаторов;
- легче преодолеть трудности, связанные с подключением к коммутаторам дополнительных линий связи;
- осуществлять альтернативную маршрутизацию (в обход поврежденных или занятых узлов связи и каналов), что создает повышенные удобства для пользователей;
- существенно сократить время на передачу пользовательских данных, повысить пропускную способность сети и повысить эффективность использования сетевых ресурсов.

Одной из концепций коммутации пакетов является мультиплексирование с помощью разделения времени использования одного и того же канала многими пользователями, что повышает эффективность функционирования ТКС. Логика коммутации пакетов позволяет мультиплексировать многие пользовательские сеансы на один порт компьютера. Пользователь воспринимает порт как выделенный, в то время как он используется как разделенный ресурс. Мультиплексирование порта и канала называют *виртуальным каналом*. Коммутация пакетов и мультиплексирование обеспечивают сглаживание асимметричных потоков в каналах связи.

Стоимость организации вызова для пакетной коммутации ниже по сравнению с соответствующей характеристикой метода коммутации цепей. Но с увеличением объема передаваемой информации стоимостная характеристика для пакетной коммутации возрастает быстрее, чем для коммутации цепей, что объясняется необходимостью больших ресурсов для обработки пересылаемой информации.

В настоящее время пакетная коммутация является основной для передачи данных.

При пакетной коммутации приходится находить компромиссное решение, удовлетворяющее двум противоречивым требованиям. Первое из них — уменьшение задержки пакета в сети, обеспечиваемое уменьшением его длины, и второе — обеспечение повышения эффективности передачи информации, достигаемое, наоборот, увеличением длины пакета (при малой длине пакета длина его заголовка становится неприемлемо большой, что снижает экономическую эффективность передачи). В сети с пакетной коммутацией максимально разрешенный размер пакета устанавливается на основе трех факторов: распределения длин пакетов, характеристики среды передачи (главным образом скорости передачи) и стоимости. Для каждой передающей среды выбирается свой оптимальный размер пакета.

### 13.3. Маршрутизация пакетов в сетях

**Сущность, цели и способы маршрутизации.** Задача маршрутизации состоит в выборе маршрута для передачи от отправителя к получателю. Она имеет смысл в сетях, где не только необходим, но и возможен выбор оптимального или приемлемого маршрута. Речь идет, прежде всего, о сетях с произвольной (ячеистой) топологией, в которых реализуется коммутация пакетов. Однако в современных сетях со смешанной топологией (звездно-кольцевой, звездно-шинной, многосегментной) реально стоит и решается задача выбора маршрута для передачи кадров, для чего используются соответствующие средства, например маршрутизаторы.

В виртуальных сетях задача маршрутизации при передаче сообщения, расчленяемого на пакеты, решается единственный раз, когда устанавливается виртуальное соединение между отправителем и получателем. В дейтаграммных сетях, где данные передаются в форме дейтаграмм, маршрутизация выполняется для каждого отдельного пакета.

Выбор маршрутов в узлах связи ТКС производится в соответствии с реализуемым алгоритмом (методом) маршрутизации.

*Алгоритм маршрутизации* — это правило назначения выходной линии связи данного узла связи ТКС для передачи пакета, базирующееся на информации, содержащейся в заголовке пакета (адреса отправителя и получателя), и информации о загрузке этого узла (длина очередей пакетов) и, возможно, ТКС в целом.

**Основные цели маршрутизации** заключаются в обеспечении:

- минимальной задержки пакета при его передаче от отправителя к получателю;
- максимальной пропускной способности сети, что достигается, в частности, нивелировкой загрузки линий связи ТКС;
- максимальной защиты пакета от угроз безопасности содержащейся в нем информации;
- надежности доставки пакета адресату;
- минимальной стоимости передачи пакета адресату.

Различают следующие способы маршрутизации.

**1. Централизованная маршрутизация** реализуется обычно в сетях с централизованным управлением. Выбор маршрута для каждого пакета осуществляется в центре управления сетью, а узлы сети связи только воспринимают и реализуют результаты решения задачи маршрутизации. Такое управление маршрутизацией уязвимо к отказам центрального узла и не отличается высокой гибкостью.

**2. Распределенная (децентрализованная) маршрутизация** выполняется главным образом в сетях с децентрализованным управлением. Функции управления маршрутизацией распределены между узлами сети, которые располагают для этого соответствующими средствами. Распределенная маршрутизация сложнее централизованной, но отличается большей гибкостью.

**3. Смешанная маршрутизация** характеризуется тем, что в ней в определенном соотношении реализованы принципы централизованной и

распределенной маршрутизации. К ней относится, например, гибридная адаптивная маршрутизация.

Задача маршрутизации в сетях решается при условии, что кратчайший маршрут, обеспечивающий передачу пакета за минимальное время, зависит от топологии сети, пропускной способности линий связи, нагрузки на линии связи. Топология сети изменяется в результате отказов узлов и линий связи и отчасти при развитии ТКС (подключении новых узлов и линий связи). Пропускная способность линий связи определяется типом передающей среды и зависит от уровня шумов и параметров аппаратуры, обслуживающей линии. Наиболее динамичным фактором является нагрузка на линии связи, изменяющаяся довольно быстро и в трудно прогнозируемом направлении.

Для выбора оптимального маршрута каждый узел связи должен располагать информацией о состоянии ТКС в целом — всех остальных узлов и линий связи. Данные о текущей топологии сети и пропускной способности линий связи предоставляются узлам без затруднений. Однако нет способа для точного предсказания состояния нагрузки в сети. Поэтому при решении задачи маршрутизации могут использоваться данные о состоянии нагрузки, запаздывающие (из-за конечной скорости передачи информации) по отношению к моменту принятия решения о направлении передачи пакетов. Следовательно, во всех случаях алгоритмы маршрутизации выполняются в условиях неопределенности текущего и будущего состояний ТКС.

**Эффективность алгоритмов маршрутизации** оценивается следующими показателями:

- временем доставки пакетов адресату;
- нагрузкой на сеть, которая при реализации данного алгоритма создается потоками пакетов, распределяемыми по линиям и узлам сети. Количественная оценка нагрузки осуществляется длиной очередей пакетов в узлах;
- затратами ресурсов в узлах связи (временем работы коммуникационной ЭВМ, емкостью памяти). Факторы, снижающие эффективность алгоритмов маршрутизации:
  - передача пакета в узел связи, находящийся под высокой нагрузкой;
  - передача пакета в направлении, не приводящем к минимальному времени его доставки;
  - создание на сеть дополнительной нагрузки за счет передачи служебной информации, необходимой для реализации алгоритма.

**Методы маршрутизации.** Различают три вида маршрутизации — простую, фиксированную и адаптивную. Принципиальная разница между ними — в степени учета изменения топологии и нагрузки сети при решении задачи выбора маршрута.

**Простая маршрутизация** отличается тем, что при выборе маршрута не учитывается ни изменение топологии сети, ни изменение ее состояния (нагрузки). Она не обеспечивает направленной передачи пакетов и имеет низкую эффективность. Ее преимущества — простота реализации алгоритма маршрутизации и обеспечение устойчивой работы сети при выходе из строя отдельных ее элементов. Из этого вида некоторое практическое применение получили случайная и лавинная маршрутизации.

**Случайная маршрутизация** характеризуется тем, что для передачи пакета из

узла связи выбирается одно, случайно выбранное, свободное направление. Пакет «блуждает» по сети и с конечной вероятностью когда-либо достигает адресата. Естественно, что при этом не обеспечивается ни оптимальное время доставки пакета, ни эффективное использование пропускной способности сети.

**Лавинная маршрутизация** (или заполнение пакетами всех свободных выходных направлений) предусматривает передачу пакета из узла по всем свободным выходным линиям. Поскольку это происходит в каждом узле, имеет место явление «размножения» пакета, что резко ухудшает использование пропускной способности сети. Значительное ослабление этого недостатка достигается путем уничтожения в каждом узле дубликатов (копий) пакета и продвижения по маршруту только одного пакета. Основное преимущество такого метода — гарантированное обеспечение оптимального времени доставки пакета адресату, так как из всех направлений, по которым передается пакет, хотя бы одно обеспечивает такое время. Метод может использоваться в незагруженных сетях, когда требования по минимизации времени и надежности доставки пакетов достаточно высоки.

**Фиксированная маршрутизация** характеризуется тем, что при выборе маршрута учитывается изменение топологии сети и не учитывается изменение ее нагрузки. Для каждого узла назначения направление передачи выбирается по таблице маршрутов (каталогу), которая определяет кратчайшие пути. Каталоги составляются в центре управления сетью. Они составляются заново при изменении топологии сети. Отсутствие адаптации к изменению нагрузки приводит к задержкам пакетов сети. Различают однопутевую и многопутевую фиксированные маршрутизации. Первая строится на основе единственного пути передачи пакетов между двумя абонентами, что сопряжено с неустойчивостью к отказам и перегрузкам, а вторая — на основе нескольких возможных путей между двумя абонентами, из которых выбирается наиболее предпочтительный путь. Фиксированная маршрутизация применяется в сетях с мало изменяющейся топологией и установившимися потоками пакетов.

**Адаптивная маршрутизация** отличается тем, что принятие решения о направлении передачи пакетов осуществляется с учетом изменения как топологии, так и нагрузки сети. Существуют несколько модификаций адаптивной маршрутизации, различающихся тем, какая именно информация используется при выборе маршрута. Получили распространение такие модификации, как локальная, распределенная, централизованная и гибридная адаптивные маршрутизации.

**Локальная адаптивная маршрутизация** основана на использовании информации, имеющейся в данном узле и включающей: таблицу маршрутов, которая определяет все направления передачи пакетов из этого узла; данные о состоянии выходных линий связи (работают или не работают); длину очереди пакетов, ожидающих передачи. Информация о состоянии других узлов связи не используется. Таблица маршрутов определяет кратчайшие маршруты, обеспечивающие доставку пакета адресату за минимальное время. Преимущество такого метода состоит в том, что принятие решения о выборе маршрута производится с использованием самых последних данных о состоянии узла. Недостаток метода заключается в его «близорукости», поскольку выбор маршрута осуществляется без учета глобального состояния всей сети. Следовательно, всегда

есть опасность передачи пакета по перегруженному маршруту.

**Распределенная адаптивная маршрутизация** основана на использовании информации, указанной для локальной маршрутизации, и данных, получаемых от *соседних* узлов сети. В каждом узле формируется таблица маршрутов (каталог) ко всем узлам назначения, где указываются маршруты с минимальным временем задержки пакетов. До начала работы сети это время оценивается, исходя из топологии сети. В процессе работы сети узлы периодически обмениваются с *соседними* узлами, так называемыми таблицами задержки, в которых указывается нагрузка (длина очереди пакетов) узла. После обмена таблицами задержки каждый узел перерасчитывает задержки и корректирует маршруты с учетом поступивших данных и длины очередей в самом узле. Обмен таблицами задержки может осуществляться не только периодически, но и асинхронно в случае резких изменений нагрузки или топологии сети. Учет состояния соседних узлов при выборе маршрута существенно повышает эффективность алгоритмов маршрутизации, но это достигается за счет увеличения загрузки сети служебной информацией. Кроме того, сведения об изменении состояния узлов распространяются по сети сравнительно медленно, поэтому выбор маршрута производится по несколько устаревшим данным.

**Централизованная адаптивная маршрутизация** характеризуется тем, что задача маршрутизации для каждого узла сети решается в центре маршрутизации (ЦМ). Каждый узел периодически формирует сообщение о своем состоянии (длине очередей и работоспособности линий связи) и передает его в ЦМ. По этим данным в ЦМ для каждого узла составляется таблица маршрутов. Естественно, что передача сообщений в ЦМ, формирование и рассылка таблиц маршрутов — все это сопряжено с временными задержками, следовательно, с потерей эффективности такого метода, особенно при большой пульсации нагрузки в сети. Кроме того, есть опасность потери управления сетью при отказе ЦМ.

**Гибридная адаптивная маршрутизация** основана на использовании таблиц маршрутов, рассылаемых ЦМ узлам сети, в сочетании с анализом длины очередей в узлах. Следовательно, здесь реализуются принципы централизованной и локальной маршрутизации. Гибридная маршрутизация компенсирует недостатки централизованной (маршруты, формируемые центром, являются несколько устаревшими) и локальной («близорукость» метода) маршрутизации и воспринимает их преимущества: маршруты центра соответствуют глобальному состоянию сети, а учет текущего состояния узла обеспечивает своевременность решения задачи.

#### **13.4. Защита от ошибок в сетях**

Проблема обеспечения безошибочности (достоверности) передачи информации в сетях имеет очень большое значение. Если при передаче обычной телеграммы в тексте возникает ошибка или при разговоре по телефону слышен треск, то в большинстве случаев ошибки и искажения легко обнаруживаются по смыслу. Но при передаче данных одна ошибка (искажение одного бита) на тысячу переданных сигналов может серьезно отразиться на качестве информации.

Существует множество методов обеспечения достоверности передачи информации (методов защиты от ошибок), отличающихся по используемым для их

реализации средствам, по затратам времени на их применение на передающем и приемном пунктах, по затратам дополнительного времени на передачу фиксированного объема данных (оно обусловлено изменением объема трафика пользователя при реализации данного метода), по степени обеспечения достоверности передачи информации. Практическое воплощение методов состоит из двух частей — программной и аппаратной. Соотношение между ними может быть самым различным, вплоть до почти полного отсутствия одной из частей. Чем больше удельный вес аппаратных средств по сравнению с программными, тем при прочих равных условиях сложнее оборудование, реализующее метод, и меньше затрат времени на его реализацию, и наоборот.

Выделяют две основные *причины возникновения ошибок* при передаче информации в сетях:

- сбой в какой-то части оборудования сети или возникновение неблагоприятных объективных событий в сети (например, коллизий при использовании метода случайного доступа в сеть). Как правило, система передачи данных готова к такого рода проявлениям и устраняет их с помощью предусмотренных планом средств;

- помехи, вызванные внешними источниками и атмосферными явлениями.

Помехи — это электрические возмущения, возникающие в самой аппаратуре или попадающие в нее извне. Наиболее распространенными являются флуктуационные (случайные) помехи. Они представляют собой последовательность импульсов, имеющих случайную амплитуду и следующих друг за другом через различные промежутки времени. Примерами таких помех могут быть атмосферные и промышленные помехи, которые обычно проявляются в виде одиночных импульсов малой длительности и большой амплитуды. Возможны и сосредоточенные помехи в виде синусоидальных колебаний. К ним относятся сигналы от посторонних радиостанций, излучения генераторов высокой частоты. Встречаются и смешанные помехи. В приемнике помехи могут настолько ослабить информационный сигнал, что он либо вообще не будет обнаружен, либо будет искажен так, что «единица» может перейти в «ноль», и наоборот.

Трудности борьбы с помехами заключаются в беспорядочности, нерегулярности и в структурном сходстве помех с информационными сигналами. Поэтому защита информации от ошибок и вредного влияния помех имеет большое практическое значение и является одной из серьезных проблем современной теории и техники связи.

Среди многочисленных методов защиты от ошибок выделяются *три группы методов*: групповые методы, помехоустойчивое кодирование и методы защиты от ошибок в системах передачи с обратной связью.

*Из групповых методов* получили широкое применение мажоритарный метод, реализующий принцип Вердана, и метод передачи информационными блоками с количественной характеристикой блока.

Суть *мажоритарного метода*, давно и широко используемого в телеграфии, состоит в следующем. Каждое сообщение ограниченной длины передается несколько раз, чаще всего три раза. Принимаемые сообщения запоминаются, а потом производится их поразрядное сравнение. Суждение о правильности передачи выносится по совпадению большинства из принятой информации методом «два из

трех». Например, кодовая комбинация 01101 при трехразовой передаче была частично искажена помехами, поэтому приемник принял такие комбинации: 10101, 01110, 01001. В результате проверки каждой позиции отдельно правильной считается комбинация 01101.

Другой групповой метод, также не требующий перекодирования информации, предполагает передачу данных блоками с количественной характеристикой блока. Такими характеристиками могут быть: число единиц или нулей в блоке, контрольная сумма передаваемых символов в блоке, остаток от деления контрольной суммы на постоянную величину и др. На приемном пункте эта характеристика вновь подсчитывается и сравнивается с переданной по каналу связи. Если характеристики совпадают, считается, что блок не содержит ошибок. В противном случае на передающую сторону поступает сигнал с требованием повторной передачи блока. В современных ТВС такой метод получил самое широкое распространение.

**Помехоустойчивое (избыточное) кодирование**, предполагающее разработку и использование корректирующих (помехоустойчивых) кодов, применяется не только в ТКС, но и в ЭВМ для защиты от ошибок при передаче информации между устройствами машины. Оно позволяет получить более высокие качественные показатели работы систем связи. Его основное назначение заключается в обеспечении малой вероятности искажений передаваемой информации, несмотря на присутствие помех или сбоев в работе сети.

Существует довольно большое количество различных помехоустойчивых кодов, отличающихся друг от друга по ряду показателей и прежде всего по своим корректирующим возможностям.

К числу наиболее важных **показателей корректирующих кодов** относятся:

- значность кода, или длина кодовой комбинации, включающей информационные символы ( $m$ ) и проверочные, или контрольные, символы ( $K$ ). Обычно значность кода  $n$  есть сумма  $m+K$ ;
- избыточность кода  $K_{изб}$ , выражаемая отношением числа контрольных символов в кодовой комбинации к значности кода;
- корректирующая способность кода  $K_{КС}$ , представляющая собой отношение числа кодовых комбинаций  $L$ , в которых ошибки были обнаружены и исправлены, к общему числу переданных кодовых комбинаций  $M$  в фиксированном объеме информации.

Выбор корректирующего кода для его использования в данной ТКС зависит от требований по достоверности передачи информации. Для правильного выбора кода необходимы статистические данные о закономерностях появления ошибок, их характере, численности и распределении во времени. Например, корректирующий код, обнаруживающий и исправляющий одиночные ошибки, эффективен лишь при условии, что ошибки статистически независимы, а вероятность их появления не превышает некоторой величины. Он оказывается непригодным, если ошибки появляются группами. При выборе кода надо стремиться, чтобы он имел меньшую избыточность. Чем больше коэффициент  $K_{изб}$ , тем менее эффективно используется пропускная способность канала связи и больше затрачивается времени на передачу информации, но зато выше помехоустойчивость системы.

В качестве примера рассмотрим порядок кодирования информации

(формирования кодовой комбинации для ее передачи адресату) и декодирования (выявления и исправления ошибок в принятой кодовой комбинации и выделения из нее информационных символов, т.е. информации пользователя) при использовании одного из наиболее популярных корректирующих кодов — кода Хэмминга, обнаруживающего и исправляющего одиночные ошибки.

В этом коде контрольные символы занимают позиции, соответствующие значениям  $2^0$ ,  $2^1$ ,  $2^2$ ,  $2^3$  и т.д., т.е. позиции с номерами 1, 2, 4, 8 и т.д. (нумерация позиций кодовой комбинации — слева направо). Количество контрольных символов в кодовой комбинации должно быть таким, чтобы в процессе декодирования сформированное корректирующее число (в двоичной системе счисления) могло указать позицию кодовой комбинации с максимальным номером. Например, для пяти информационных разрядов потребуется четыре контрольных. В полученной кодовой комбинации позиция с наибольшим номером будет 9-й, что записывается как 1001, т.е. требует четырех разрядов.

Значения контрольных символов при кодировании определяются путем контроля на четность количества единиц *в информационных* разрядах кодовой комбинации. Значение контрольного символа равно 0, если количество единиц будет четным, и равно 1 при нечетном количестве единиц.

При определении значения 1-го контрольного символа, размещаемого на 1-й позиции кодовой комбинации, проверяются на четность те информационные позиции, двоичные изображения номеров которых содержат единицу в младшем разряде, т.е. проверяются позиции с нечетными номерами. При определении значения 2-го контрольного символа, размещаемого на 2-й позиции кодовой комбинации, проверяются на четность те информационные позиции, двоичные изображения номеров которых содержат единицу во 2-м разряде, т.е. позиции с номерами 3, 6, 7, 10, 11 и т.д. Значение 3-го контрольного символа, размещаемого на 4-й позиции кодовой комбинации, определяется путем контроля на четность тех информационных позиций, двоичные изображения номеров которых содержат единицу в 3-м разряде, т.е. позиции с номерами 5, 6, 7, 12 и т.д. Аналогично устанавливаются значения и других контрольных символов.

В процессе декодирования формируется корректирующее число (КЧ), разрядность двоичного изображения которого устанавливается по указанному выше правилу. Значения разрядов этого числа определяются по правилам, аналогичным тем, которые использовались для определения значений контрольных символов в процессе кодирования. Разница лишь в том, что при определении значений разрядов КЧ проверяются на четность не только информационные позиции, но и контрольные. Например, для определения значения младшего разряда КЧ проверяются на четность те позиции кодовой комбинации, двоичные изображения номеров которых содержат единицу в младшем разряде, т.е. позиции с нечетными номерами 1, 3, 5, 7 и т.д.

Значение корректирующего числа определяет номер позиции кодовой комбинации, в которой произошла ошибка. Для ее исправления необходимо значение кода в этой позиции изменить на противоположное (0 на 1 или 1 на 0). Если КЧ равно нулю, то это указывает на отсутствие ошибок в принятой кодовой комбинации. Процесс декодирования завершается выделением из кодовой комбинации информационных символов.

Заметим, что в ТВС корректирующие коды в основном применяются для обнаружения ошибок, исправление которых осуществляется путем повторной передачи искаженной информации. С этой целью в сетях используются системы передачи с обратной связью (наличие между абонентами дуплексной связи облегчает применение таких систем).

*Системы передачи с обратной связью* делятся на системы с решающей обратной связью и системы с информационной обратной связью.

Особенностью систем с решающей обратной связью (систем с перезапросом) является то, что решение о необходимости повторной передачи информации (сообщения, пакета) принимает приемник. Здесь обязательно применяется помехоустойчивое кодирование, с помощью которого на приемной станции осуществляется проверка принимаемой информации. При обнаружении ошибки на передающую сторону по каналу обратной связи посылается сигнал перезапроса, по которому информация передается повторно. Канал обратной связи используется также для посылки сигнала подтверждения правильности приема, автоматически определяющего начало следующей передачи.

В системах с информационной обратной связью передача информации осуществляется без помехоустойчивого кодирования. Приемник, приняв информацию по прямому каналу и зафиксировав ее в своей памяти, передает ее в полном объеме по каналу обратной связи передатчику, где переданная и возвращенная информация сравниваются. При совпадении передатчик посылает приемнику сигнал подтверждения, в противном случае происходит повторная передача всей информации. Таким образом, здесь решение о необходимости повторной передачи принимает передатчик.

Обе рассмотренные системы обеспечивают практически одинаковую достоверность, однако в системах с решающей обратной связью пропускная способность каналов используется эффективнее, поэтому они получили большее распространение.

### **13.5.Сети и технологии X.25 и Frame Relay**

Ниже даются краткие сведения о наиболее распространенных телекоммуникационных системах, или территориальных сетях связи. К ним относятся X.25, Frame Relay (FR), IP, ISDN, SDH, ATM. При этом обращается внимание на их «прогрессивность», т.е. возможность предоставления полного сервиса в настоящее время и степень актуальности в перспективе. Особенно важным преимуществом той или иной сетевой технологии является ее возможность наиболее полно использовать имеющуюся в распоряжении пользователя полосу пропускания канала связи и адаптироваться к качеству канала.

**Сети и технологии X.25.** Сетями X.25 называются сети, доступ к которым производится в соответствии с рекомендациями Международного консультативного комитета по телефонии и телеграфии (МККТТ), первый вариант которой появился в 1976 г. Эта рекомендация описывает интерфейс доступа пользователя в сеть передачи данных, а также интерфейс взаимодействия с удаленным пользователем через СПД. Передача данных в сети X.25 производится по протоколам, описанным в рекомендации X.25. С момента выпуска первого варианта рекомендации X.25 все стандарты были практически проверены, расширены и дополнены, и сегодня

достигнут высокий уровень совместимости оборудования, выпускаемого различными фирмами для сетей X.25.

Несмотря на появление новых интегральных технологий сетей связи, рассчитанных на высокоскоростные каналы связи, сети X.25 все еще являются наиболее распространенными СПД. Это объясняется тем, что именно сети X.25 с наибольшим основанием можно сравнить с телефонными сетями: установив соединение компьютера с ближайшим узлом сети X.25, можно связаться с любым из многих тысяч пользователей сетей X.25 по всему миру (для этого надо лишь знать его сетевой адрес), точно так же, как подняв трубку телефонного аппарата, подключенного к ближайшей АТС, можно соединиться практически с любым абонентом. Технология X.25 особенно актуальна для России и других стран, где пока отсутствует развитая инфраструктура высокоскоростных первичных каналов связи.

На основе технологий X.25 построено большинство эксплуатируемых в настоящее время СПД с коммутацией пакетов, предназначенных для организации и обеспечения надежной передачи данных в условиях разветвленных территориальных сетей на базе низко- и среднескоростных каналов. При этом за счет повторной передачи искаженных кадров между каждой парой *соседних* узлов сети обеспечивается достоверная и упорядоченная передача данных. Однако в сети с каналами низкого качества из-за повторных передач возникают нерегламентированные и непостоянные задержки передаваемых данных, поэтому передача трафика, чувствительного к задержкам (например, оцифрованного голоса), по сетям X.25 с удовлетворительным качеством невозможна.

Рекомендация X.25 описывает три уровня протоколов: физический, канальный и сетевой. Они реализуют функции соответственно физического, канального, сетевого и частично транспортного уровней модели взаимодействия открытых систем (ВОС — OSI).

**Физический уровень**, широко представленный в оборудовании массового спроса, описывает уровни сигналов и логику взаимодействия на уровне физического интерфейса.

**Канальный уровень**, также широко представленный в оборудовании (например, в модемах), отвечает за эффективную и надежную передачу данных в соединении «точка — точка», т.е. между соседними узлами сети X.25. На этом уровне осуществляется защита от ошибок при передаче между соседними узлами, управление потоком данных и, кроме того, обеспечивается получение оптимального по скорости передачи режима в зависимости от протяженности канала между двумя точками (времени задержки в канале) и качества канала (вероятности искажения информации при передаче), что важно при оценке эффективности функционирования двухточечного соединения.

Для реализации указанных выше функций поток информации разбивается на кадры (frame), каждый из которых представляет собой организованную определенным образом последовательность битов. Кадр обрамляется «флагами» (уникальными последовательностями битов, являющимися разделителем между кадрами) и состоит из служебных полей (поля адреса, поля управления с циклическим номером кадра, поля проверочной последовательности кадра) и информационного поля для информационных кадров. Длину кадра можно менять

при настройке параметров протокола к физическим характеристикам линии связи. Чем короче кадр, тем меньше вероятность его искажения при передаче. С другой стороны, если линия хорошего качества, то информацию лучше передавать более длинными кадрами, обеспечивающими уменьшение процента избыточной информации (флаги, служебные поля кадра).

Наконец, *на сетевом уровне*, определяющем специфику сетей X.25, производится маршрутизация пакетов (на этом уровне информация также структурируется, т.е. разбивается на «порции», называемые «пакетами») и доведение информации от «точки входа» в сеть до «точки выхода» из нее. Структура пакета во многом аналогична структуре кадра. При передаче пакет помещается в поле данных информационного кадра (кадра канального уровня).

В сетях X.25 реализуется метод «коммутиации пакетов», в соответствии с которым перед передачей информации от одного абонента к другому между ними сначала устанавливается виртуальное (логическое) соединение, т.е. происходит обмен пакетами «запрос вызова» — «вызов принят», после чего производится обмен информацией. Виртуальные соединения могут быть как постоянными, так и коммутируемыми, когда соединение устанавливается под каждый сеанс обмена информацией. Число виртуальных соединений, которые могут одновременно поддерживаться на базе одного физического канала, зависит от конкретного типа оборудования, используемого для поддержания таких соединений.

Доступ пользователей к сети X.25 осуществляется в одном из двух режимов — в пакетном или в монопольном. Доступ с персонального компьютера (ПК) в сеть *в пакетном режиме* реализуется путем установления в ПК специальной платы, обеспечивающей обмен данными в соответствии со стандартом X.25. Подключение ЛВС через сеть X.25 осуществляется с помощью сетевых плат (например, производимых компаниями Microdyne, Newport Systems Solutions и др.), или для этого могут использоваться мосты-маршрутизаторы удаленного доступа, включенные в виде отдаленных устройств и поддерживающие протокол X.25. Преимущество таких устройств по сравнению со встроенными в компьютер платами (помимо большей производительности) состоит в том, что они не требуют установки специального программного обеспечения, а сопрягаются с ЛВС по стандартному интерфейсу локальной сети, что позволяет реализовать более гибкие и универсальные решения. Подключение пользовательского оборудования к сети в пакетном режиме удобно, когда требуется многопользовательский доступ к этому оборудованию через сеть.

Подключение к сети X.25 в *монопольном режиме* производится по стандартам X.3, X.28, X.29, которые определяют функционирование специальных устройств доступа в сеть — «сборщиков/разборщиков пакетов» — ПАД (packet assembler-dissassembler). Эти устройства используются для доступа в сеть абонентов в асинхронном режиме обмена информацией, т.е. через последовательный порт компьютера (непосредственно или с применением модемов). ПАД обычно имеет несколько асинхронных портов и один синхронный порт (порт X.25). ПАД накапливает поступающие по асинхронным портам данные, упаковывает их в пакеты и передает через порт X.25. В разных сетях могут быть установлены различные значения параметров передачи по каналам X.25 (длина кадра и пакета, система адресации и др.). Для обеспечения стыковки этих сетей была разработана рекомендация X.75, определяющая правила согласования параметров при переходе

из одной сети в другую. Сопряжение сетей обычно производится через ЦКП, в котором реализована поддержка шлюзовых функций.

Метод коммутации пакетов, лежащий в основе сетей X.25, определяет основные преимущества таких сетей, а следовательно, и области их применения. **Преимущества сетей X.25 заключаются в следующем.**

1. Сети X.25 позволяют в режиме реального времени разделять один и тот же физический канал между несколькими абонентами. Благодаря этому во многих случаях оказывается экономически выгоднее для передачи данных пользоваться сетью X.25, производя оплату за каждый байт переданной информации, а не оплачивать время использования телефонной линии. Метод разделения физического канала между абонентами в сетях X.25 называют еще логическим или статистическим уплотнением (в отличие от временного разделения канала). При статистическом разделении канала нет строго регламентированной степени загрузки канала каждым абонентом в определенный момент времени. Эффективность использования статистического уплотнения зависит от статистических или вероятностных характеристик уплотняемых потоков информации.

2. Сети X.25 позволяют передавать оптимальным образом данные по выделенным и коммутируемым каналам телефонной сети общего пользования. Критериями оптимизации являются максимально возможные на этих каналах скорость и достоверность передачи данных.

3. В сетях X.25 имеется механизм альтернативной маршрутизации, с помощью которого, помимо основного маршрута, задается ряд альтернативных (резервных) маршрутов, за счет чего значительно увеличивается надежность работы сети. Однако это означает, что между любыми двумя точками подключения пользователя к сети должно быть по крайней мере два различных маршрута.

При всех достоинствах сетевой технологии X.25 у нее есть и **свои довольно серьезные ограничения:**

- невозможность передавать по сетям X.25 такие виды информации, как голос и видеoinформация;
- существенное ограничение скорости передачи, основной причиной которого является наличие в таких сетях развитых механизмов коррекции ошибок. Эти механизмы требуют подтверждения информации между каждыми соседними узлами сети, что приводит к значительным задержкам распространения информации. Поэтому технология X.25 обычно применяется в сетях, использующих каналы связи со скоростью передачи не более 128 Кбит/с. Указанные ограничения преодолены в технологии Frame Relay.

**Сети и технологии Frame Relay** (ретрансляция кадров). Сетью Frame Relay (в дальнейшем — FR) называется сеть коммутации кадров, в которой используется технология (протокол) передачи данных одноименного названия. Протокол FR — это интерфейс доступа к сетям быстрой коммутации пакетов. Он позволяет эффективно передавать крайне *неравномерно распределенный во времени трафик*. Отличительные особенности протокола FR: *малое время задержки при передаче информации через сеть, высокие скорости передачи, «высокая степень связности», эффективное использование полосы пропускания. По сетям FR возможна передача не только собственно данных, но и оцифрованного голоса.*

Для оценки FR-сетей (как и АТМ-сетей) важным фактором является не

столько высокая «физическая» скорость передачи данных (т.е. скорость «физических» каналов), *сколько реализация методов статистического уплотнения информации, обеспечивающих существенное повышение информационной скорости передачи в условиях дефицита физической пропускной способности канала, а также наличие интерфейсов для эффективного подключения к сети различных типов оконечных пользовательских устройств.*

Протокол FR выполняет функции первого, частично второго и третьего уровней модели ВОС. Он позволяет устанавливать соединение между взаимодействующими узлами сети, что аналогично соединению по X.25 в случае, когда используется постоянное виртуальное соединение (PVC). Внутри каждого физического канала может быть создана совокупность PVC (логических каналов), что и объясняет «высокую степень связности», обеспечиваемую протоколом FR. Что касается коммутируемых виртуальных соединений (SVC), то их использование в FR-сетях описывается специальными протоколами.

Сети FR могут выступать альтернативой сетям X.25. Например, ЛВС могут подключаться к сети непосредственно по интерфейсу FR, и тогда FR-сеть выполняет те же функции по обеспечению взаимодействия удаленных ЛВС, что и сеть X.25. В других случаях сеть FR выступает в качестве высокоскоростной магистрали для объединения ряда сетей X.25. Такое решение легко реализуется, так как большинство современных устройств центров коммутации пакетов сетей X.25 оборудованы портами FR.

В отличие от сетей X.25, где на сетевом уровне обеспечивается гарантированная передача пакетов (в случае искажения при передаче какого-либо пакета происходит его повторная передача), кадр FR не содержит переменных нумераций передаваемых и подтверждаемых кадров. При межузловом обмене информацией в сетях FR ошибочные кадры просто «выбрасываются», их повторная передача средствами FR не происходит.

Кадр FR-сети имеет минимальную избыточность, т.е. доля служебной информации в кадре по отношению к передаваемым данным пользователя минимальна. Это способствует сокращению времени на передачу фиксированного объема информации. Кроме того, в сети FR может производиться маршрутизация своими средствами (без задействования механизмов маршрутизации по X.25 или по протоколу IP), что значительно увеличивает скорость маршрутизации. Однако такой эффект достигается только при использовании каналов, качество которых соответствует требованиям технологии FR. В противном случае сравнительно много кадров будут передаваться с ошибкой, и потребуются повторная передача кадров, обеспечиваемая дополнительными средствами. Это снизит информационную скорость передачи информации, и более эффективной в этом случае станет сеть X.25.

Эффективность технологии FR достигается также использованием специфических механизмов, управляющих загрузкой сети. Эти механизмы обеспечивают практически гарантированное время доставки кадров через сеть и одновременно дают возможность сети адаптироваться к крайне неравномерным во времени типам трафика (например, к трафику ЛВС).

Стремительному развитию технологии FR и повышению ее эффективности способствует ряд факторов, в частности улучшение качества каналов связи,

использование современного многофункционального каналообразующего оборудования. К новому классу такого оборудования относятся **мультимедийные пакетные коммутаторы (МПК)**.

*Коммутаторы МПК*, использующие технологию FR для транспортировки информации, совмещают несколько функций: статистическое уплотнение каналов передачи данных, при котором фиксированные промежутки времени в уплотняемом канале не предоставляются отдельно каждому каналу, как это имеет место при использовании метода временного уплотнения; информация каждого канала разбивается на отдельные блоки, к блоку прибавляются заголовок, содержащий идентификатор соответствующего канала, и хвост, что образует единицу передачи информации — кадр, с помощью которого могут передаваться все виды трафика. Основные преимущества такого уплотнения: динамическое распределение пропускной способности уплотненного канала связи в зависимости от активности в каналах передачи данных, возможность предоставления пропускной способности по требованию, возможность установки приоритетов для различных видов трафика;

- коммутация и передача различных видов трафика;
- управление потоком информации и установка приоритетов;
- поддержка функций телефонных станций. К функциям АТС, выполняемым МПК, относятся оцифровка и коммутация голоса, передача факсимильных сообщений. Для технологии FR характерным является возможное увеличение задержки при передаче голоса по сравнению с обычной телефонной сетью. Устранить это явление можно путем установления более высокого приоритета для голосового трафика и применения фрагментации кадров. Распространению технологии FR способствует также наличие стандартов, обеспечивающих совместимость сетей FR с другими сетями. Например, имеется стандарт IETF 1294 для преобразования пакетов TCP/IP в кадры FR. Есть стандарты, обеспечивающие совместимость FR с самыми высокопроизводительными и современными сетями — сетями АТМ. При «входе» в сеть АТМ длинные кадры FR разбиваются на короткие, размещаемые внутри АТМ-ячеек, а при «выходе» из сети АТМ из ячеек АТМ-сети извлекаются фрагменты кадров FR, и из них собираются полные кадры FR.

В настоящее время за рубежом, особенно в США, наблюдается стремительное развитие сетей FR. За один только 1996 г. число пользователей этих сетей выросло более чем в 3 раза. В начале 1997 г. около 1800 фирм США строили свои корпоративные сети на базе магистральных сетей FR. Наиболее распространенные **способы доступа к сетям FR**:

- использование выделенных линий;
- через сети X.25 по обычным коммутируемым телефонным линиям;
- через ISDN для передачи данных и голоса.

В России большинство сетей передачи данных общего пользования также предоставляют пользователям FR-сервис. Основная проблема с реализацией магистральной сети FR заключается в том, что те магистральные междугородные каналы, которые построены на базе телефонных линий (линий тональной частоты), не обеспечивают необходимое для сети FR качество передачи. Для построения сетей FR самые широкие возможности имеют те предприятия, решения которых основаны на базе оптоволоконных или спутниковых каналов связи.

Технология FR и в будущем сохранит свои преимущества и актуальность,

поскольку она обеспечивает идеальный доступ к высокоскоростной магистральной АТМ-сети по низкоскоростным каналам связи. Эта технология в настоящее время является наиболее эффективной для приложений, связанных с интеграцией неравномерного (пульсирующего) трафика локальных сетей, и чувствительной к задержке голосовой информации.

### **13.6. Сети и технологии ISDN и SDH**

**Сети и технологии ISDN.** Сети ISDN (Integrated Services Digital Network — цифровая сеть с интеграцией услуг) относятся к классу сетей, изначально предназначенных для передачи как данных, так и голоса. Это сети, обеспечивающие цифровое соединение между конечными абонентами сети для предоставления широкого набора услуг, к которым пользователи получают доступ через ограниченное число стандартных многофункциональных интерфейсов.

В сетях ISDN используется цифровая технология, получающая все большее распространение, так как:

- цифровые устройства, используемые в ISDN, производятся на основе интегральных схем высокой интеграции; по сравнению с аналоговыми устройствами они отличаются большой надежностью и устойчивостью в работе и, кроме того, в производстве и эксплуатации, как правило, дешевле;
- цифровую технологию можно использовать для передачи любой информации по одному каналу (акустических сигналов, телевизионных видеоданных, факсимильных данных);
- цифровые методы преодолевают многие из ограничений передачи и хранения, которые присущи аналоговым технологиям.

В сетях ISDN при передаче аналогового сигнала осуществляется преобразование его в последовательность цифровых значений, а при приеме — обратное преобразование.

Аналоговый сигнал проявляется как постоянное изменение амплитуды во времени. Например, при разговоре по телефону, который действует как преобразователь акустических сигналов в электрические, механические колебания воздуха (чередование высокого и низкого давления) преобразуются в электрический сигнал с такой же характеристикой огибающей амплитуды. Однако непосредственная передача аналогового электрического сигнала по телефонной линии связи сопряжена с рядом недостатков: искажение сигнала вследствие его нелинейности, которая увеличивается усилителями, затухание сигнала при передаче через среду, подверженность влиянию шумов в канале и др.

В ISDN эти недостатки преодолимы. Здесь форма аналогового сигнала представляется в виде цифровых (двоичных) образов, цифровых значений, представляющих соответствующие значения амплитуды огибающей синусоидальных колебаний в точках, на дискретных уровнях. Цифровые сигналы также подвержены ослаблению и шумам при их прохождении через канал, однако на приемном пункте необходимо отмечать лишь наличие или отсутствие двоичного цифрового импульса, а не его абсолютное значение, которое важно в случае аналогового сигнала. Следовательно, цифровые сигналы принимаются надежнее, их можно полностью восстановить, прежде чем они из-за затухания станут ниже порогового значения.

Подключение пользовательского оборудования к сети ISDN производится на одной из двух стандартных скоростей [23]. Первая из них — «базовая» скорость (**BRI** — Basic Rate Interface), а вторая — «первичная» (**PRI** — Primary Rate Interface). При передаче информации по BRI в канале создаются три логических подканала, два из которых, называемые **B**-каналами, предназначены для передачи «полезной» информации пользователя (в частности, голоса). Каждый из **B**-каналов требует полосы пропускания 64 Кбит/с. Третий подканал, называемый **D**-каналом, требует такой же полосы пропускания и используется прежде всего для передачи служебной информации, которая определяет порядок обработки информации, передаваемой по **B**-каналам. Иногда **D**-канал используется для передачи полезной информации, его полоса пропускания равна 16 Кбит/с. Следовательно, общая полоса пропускания, т.е. скорость передачи, соответствующая интерфейсу BRI, составляет 144 Кбит/с.

Канал PRI имеет свою специфику в разных странах. В США, Канаде и Японии он состоит из двух **B**-каналов и одного **D**-канала, каждый из них имеет пропускную способность 64 Кбит/с, а общая пропускная способность **PRI**-канала равна 1536 Кбит/с (с учетом служебной информации). В Европе канал PRI занимает полосу пропускания 1920 Кбит/с.

Большая полоса пропускания каналов, необходимая для построения сетей ISDM, является основным препятствием на пути их распространения, особенно в странах со слаборазвитой инфраструктурой высокоскоростных каналов связи. Однако существуют механизмы, позволяющие строить такие сети, более экономно используя полосу пропускания каналов связи. Один из таких механизмов позволяет уплотнять **B**-каналы, используемые для передачи голоса. При этом реализуется техника кодирования (преобразования акустических сигналов в цифровой код), получившая название импульсно-кодовой модуляции (ИКМ). В настоящее время техника кодирования голоса шагнула далеко вперед, обеспечивая вполне приемлемое качество голосовой связи при гораздо меньшей полосе пропускания (в одном из практических случаев голосовая информация, передаваемая по каждому из **B**-каналов, сжимается и передается со скоростью 6,33 Кбит/с [23]).

Преобразование аналоговых сигналов в цифровые осуществляется различными методами. Один из них — *импульсно-кодовая модуляция (ИКМ)*, предложенная в 1938 г. А.Х. Ривсом (США). При использовании ИКМ процесс преобразования включает три этапа: отображение, квантование и кодирование (рис. 13.3).



**Рис. 13.3.** Преобразование аналогового сигнала в 8-элементный цифровой код  
**Первый этап** основан на теории *отображения* Найквиста. Основное положение этой теории гласит: «если аналоговый сигнал отображается на

регулярном интервале с частотой не менее чем в два раза выше максимальной частоты исходного сигнала в канале, то отображение будет содержать информацию, достаточную для восстановления исходного сигнала». При передаче акустических сигналов (речи) представляющие их электрические сигналы в телефонном канале занимают полосу частот от 300 до 3300 Гц. Поэтому в ISDN принята частота отображений, равная 8000 раз в секунду. Отображения, каждое из которых называется *сигналом импульсно-амплитудной модуляции* (ИАМ), запоминаются, а затем трансформируются в двоичные образы.

На *этапе квантования* каждому сигналу ИАМ придается квантованное значение, соответствующее ближайшему уровню квантования. Весь диапазон изменения амплитуды сигналов ИАМ разбивается на 128 или 256 уровней квантования. Чем больше уровней квантования, тем точнее амплитуда ИАМ-сигнала представляется квантованным уровнем.

На *этапе кодирования* каждому квантованному отображению ставится в соответствие 7-разрядный (если число уровней квантования равно 128) или 8-разрядный (при 256-шаговом квантовании) двоичный код. На рис. 13.3 показаны сигналы 8-элементного двоичного кода 00101011, соответствующего квантовому сигналу с уровнем 43. При кодировании 7-элементными кодами скорость передачи данных по каналу должна составлять 56 Кбит/с (это произведение частоты отображения на разрядность двоичного кода), а при кодировании 8-элементными кодами — 64 Кбит/с.

В современных ISDN используется и другая концепция преобразования аналоговых сигналов в цифровые, при которой квантуются и затем кодируются не сами сигналы ИАМ, а лишь их изменения, причем число уровней квантования принимается таким же. Очевидно, что такая концепция позволяет производить преобразование сигналов с большей точностью.

По мнению специалистов, развитию сетей и технологий ISDN способствуют такие факторы: либерализация и приватизация в области телекоммуникаций (это приводит к появлению новых конкурентов и новых сетевых продуктов); сближение технологий информатизации, телекоммуникаций и отрасли развлечений (это положительно воздействует на развитие кабельного телевидения, спутниковой связи и радиодоступа, при этом на первое место выходит задача обеспечения комплексности предоставления услуг связи); развитие сети Интернет; непрерывающийся рост сетей подвижной связи (эти сети растут значительно быстрее фиксированных сетей, причем наблюдается перераспределение трафика — с фиксированных сетей на сети подвижной связи). Разное состояние этих факторов, выступающих в роли движущих сил развития ISDN-сетей, приводит к различию стратегических и тактических подходов в деле их внедрения в разных странах.

Резкое возрастание роли ISDN-сетей объясняется тем, что они обеспечивают интегрированный доступ к речевым и неречевым услугам, имеют сложившуюся инфраструктуру, являются цифровыми сетями, основанными на использовании цифровых каналов 64 Кбит/с, обладают достаточной гибкостью. Популяризация ISDN-сети возрастает, поскольку по определению она является мультисервисной (обеспечивает услуги по предоставлению связи, доставке информации, а также дополнительные услуги), ориентированной на приложения. Термин «приложение» означает определенную сферу применения ISDN (например, дистанционное

обучение), а термин «решение» используется для объяснения, каким образом данное приложение реализуется средствами ISDN (дистанционное обучение осуществляется с помощью услуги видеоконференц-связи).

Технология ISDN стабильно развивается, а сеть на ее основе имеет необходимые интерфейсы с не ISDN-сетями. Кроме того, имеется большой набор терминального оборудования для ISDN-сетей.

**Терминальное оборудование ISDN** разбивается на такие группы: цифровые телефонные аппараты, терминальные адаптеры для ПК, оборудование видеосвязи.

**Основные средства доступа к сети ISDN:** маршрутизаторы или мосты локальных сетей, оконечные сетевые устройства базового и первичного доступа для ВОЛС и медных линий связи, мультиплексоры (для сбора и передачи информации от удаленных абонентов), системы для проведения видеоконференций, мини-УАТС (управленческие автоматические телефонные станции).

Цифровые УАТС с функциями ISDN позволяют: более полно использовать каналы связи для передачи данных и речи, выйти абоненту в сеть ISDN с различных устройств (телефона, факса, компьютера), одновременно передавать речь и данные (если в составе УАТС имеются двухпроводные цифровые телефонные аппараты с расширенными функциями и портом для подключения ПК), подключать мосты или маршрутизаторы для взаимодействия удаленных ЛВС.

Сети и технологии ISDN предоставляют пользователям следующие основные услуги: передача данных со скоростью 64 Кбит/с, передача речи в цифровом виде, телетекст, факс, видеосвязь. При использовании каждой из них абонент может воспользоваться такими дополнительными услугами, как организация замкнутых групп пользователей, организация конференц-связи, предоставление сети своего номера или отказ на предоставление и др.

Таким образом, сети ISDN, основной целью разработки которых было объединение в одной сети трафиков цифровых телефонных сетей и компьютерных данных, в настоящее время широко используются для решения задач по передаче информации в следующих областях: телефония, передача данных, объединение ЛВС, доступ к глобальным компьютерным сетям, интеграция различных видов трафика, передача трафика, чувствительного к задержкам (звук, видео).

**Сети и технологии SDH.** В сетях стандарта SDH (Synchronous Digital Hierarchy — синхронная цифровая иерархия) реализуется технология синхронных волоконно-оптических сетей. Это высокоскоростные сети цифровой связи, которые строятся на базе оптоволоконных кабельных линий или цифровых радиорелейных линий. Основу инфраструктуры современных высокоскоростных телекоммуникационных сетей (магистральных, региональных или городских) составляют цифровые линии и узлы сети стандарта SDH.

**При построении сетей SDH** используются следующие модули:

- мультиплексоры SDH — это основные функциональные модули сетей SDH, предназначенные для сборки высокоскоростного потока информации из низкоскоростных потоков и разборки высокоскоростного потока на низкоскоростные;
- коммутаторы обеспечивают связь каналов, закрепленных за пользователями, путем полупостоянного перекрестного соединения между ними;
- концентраторы служат для объединения однотипных потоков нескольких

удаленных узлов сети в одном распределенном узле;

- регенераторы — это устройства мультиплексирования с одним оптическим каналом доступа и одним - двумя выходами, используемыми для увеличения расстояния между узлами сети SDH. Сети и технологии SDH отличаются высоким уровнем стандартизации (что позволяет в одной сети использовать оборудование разных фирм-производителей), высокой надежностью (централизованное управление сетью обеспечивает полный мониторинг состояния узлов), наличием полного программного контроля (отслеживание и регистрация аварийных ситуаций, управление конфигурацией сети осуществляется программными средствами с единой консоли управления), возможностью оперативного предоставления услуг по требованию, сравнительно простой схемой развития сети. Благодаря этим преимуществам технология SDH стала основной при построении цифровых транспортных сетей самого различного масштаба.

Топология всей SDH-сети формируется из отдельных базовых топологий типа «кольцо», «линейная цепь», «звезда», «точка-точка», которые используются в качестве сегментов сети. Чаще применяется радиально-кольцевая архитектура SDH-сети, построенная на базе кольцевой и линейной топологий.

В России наибольшую активность в использовании SDH-технологии проявляет АО «Ростелеком». Это АО ежегодно строит 5—6 тыс. км магистральных цифровых линий на основе волоконно-оптических кабелей (ВОЛС) и цифровых радиорелейных линий [40]. Компанией RASCOM построена в 1994 г. и эксплуатируется высокоскоростная цифровая оптоволоконная магистральная линия стандарта SDH между Москвой и Санкт-Петербургом протяженностью 690 км.

### **13.7. Сети и технологии АТМ**

Технология АТМ (Asynchronous Transfer Mode — режим асинхронной передачи) является одной из самых перспективных технологий построения высокоскоростных сетей. Она обеспечивает максимально эффективное использование полосы пропускания каналов связи при передаче различного рода информации: голоса, видеоинформации, данных от самых разных типов устройств — асинхронных терминалов, узлов сетей передачи данных, локальных сетей и т.д. (к таким сетям относятся практически все ведомственные сети). Сети, в которых используется АТМ-технология, называются *АТМ-сетями*. Эффективность АТМ-технологии заключается в возможности применения различных интерфейсов для подключения пользователей к сетям АТМ.

#### **Основные особенности АТМ-технологии.**

1. АТМ — это асинхронная технология, так как пакеты небольшого размера, называемые ячейками (cells), передаются по сети, не занимая конкретных временных интервалов, как это имеет место в В-каналах сетей ISDM.

2. Технология АТМ ориентирована на предварительное (перед передачей информации) установление соединения между двумя взаимодействующими пунктами. После установления соединения АТМ-ячейки маршрутизируют сами себя, поскольку каждая ячейка имеет поля, идентифицирующие соединение, к которому она относится.

3. По технологии АТМ допускается совместная передача различных видов сигналов, включая речь, данные, видеосигналы. Достигаемая при этом скорость передачи (от 155 Мбит/с до 2,2 Гбит/с) может быть обеспечена одному

пользователю, рабочей группе или всей сети. В АТМ-ячейке не предусматриваются позиции для определенных видов передаваемой информации, поэтому пропускная способность канала регулируется путем выделения полосы пропускания потребителю.

4. Поскольку передаваемая информация разбивается на ячейки фиксированного размера (53 байта), алгоритмы их коммутации реализованы аппаратно, что позволяет устранить задержки, неизбежные при программной реализации коммутации ячеек.

5. АТМ-технология обладает способностью к наращиваемости, т.е. к увеличению размера сети путем каскадного соединения нескольких АТМ-коммутаторов.

6. Построение АТМ-сетей и реализация соответствующих технологий возможны на основе оптоволоконных линий связи, коаксиальных кабелей, неэкранированной витой пары. Однако в качестве стандарта на физические каналы для АТМ выбран стандарт на оптоволоконные каналы связи синхронной цифровой иерархии SDH. Технология мультиплексирования и коммутации, разработанная для SDH, стала АТМ-технологией.

7. АТМ-технологии могут быть реализованы в АТМ-сетях практически любой топологии, но окончное оборудование пользователей подключается к коммутаторам АТМ индивидуальными линиями по схеме «звезда».

Главное *отличие АТМ-технологии* от других телекоммуникационных технологий заключается в высокой скорости передачи информации (в перспективе — до 10 Гбит/с), причем привязка к какой-либо одной скорости отсутствует. Важным является и то обстоятельство, что АТМ-сети совмещают функции глобальных и локальных сетей, обеспечивая идеальные условия для «прозрачной» транспортировки различных видов трафика и доступа к услугам и службам взаимодействующих с сетью АТМ-сетей.

АТМ-технология допускает использование как постоянных (PVC), так и коммутируемых виртуальных каналов (SVC).

*Постоянные каналы PVC* представляют собой соединение (после предварительной настройки) между взаимодействующими пользователями сети, которое существует постоянно. Устройства, связываемые постоянным виртуальным каналом, должны вести довольно громоздкие таблицы маршрутизации, отслеживающие все соединения в сети. Следовательно, рабочие станции, соединенные PVC, должны иметь таблицы маршрутизации всех остальных станций сети, что неэкономично и может вызывать задержки в передаче.

*Коммутируемые виртуальные каналы (SVC)* позволяют устранить необходимость ведения сложных таблиц маршрутизации и таким образом повысить эффективность функционирования сети. Здесь *соединение устанавливается динамически, при этом используются АТМ-маршрутизаторы*. В отличие от традиционных маршрутизаторов, которые требуют физического подключения сетевого сегмента к каждому из своих портов, в АТМ-маршрутизаторах используется не физическая архитектура с ориентацией на соединения, а виртуальная сетевая архитектура, ориентированная на протоколы. Такие маршрутизаторы необходимы и удобны для создания виртуальной сети, для которой характерной является возможность переключения пользователей, находящихся в

любой точке сети, с одного сегмента на другой с сохранением виртуального адреса рабочей группы, что упрощает администратору сети задачу учета изменений списка пользователей.

АТМ-технология способна обрабатывать трафики различных классов.

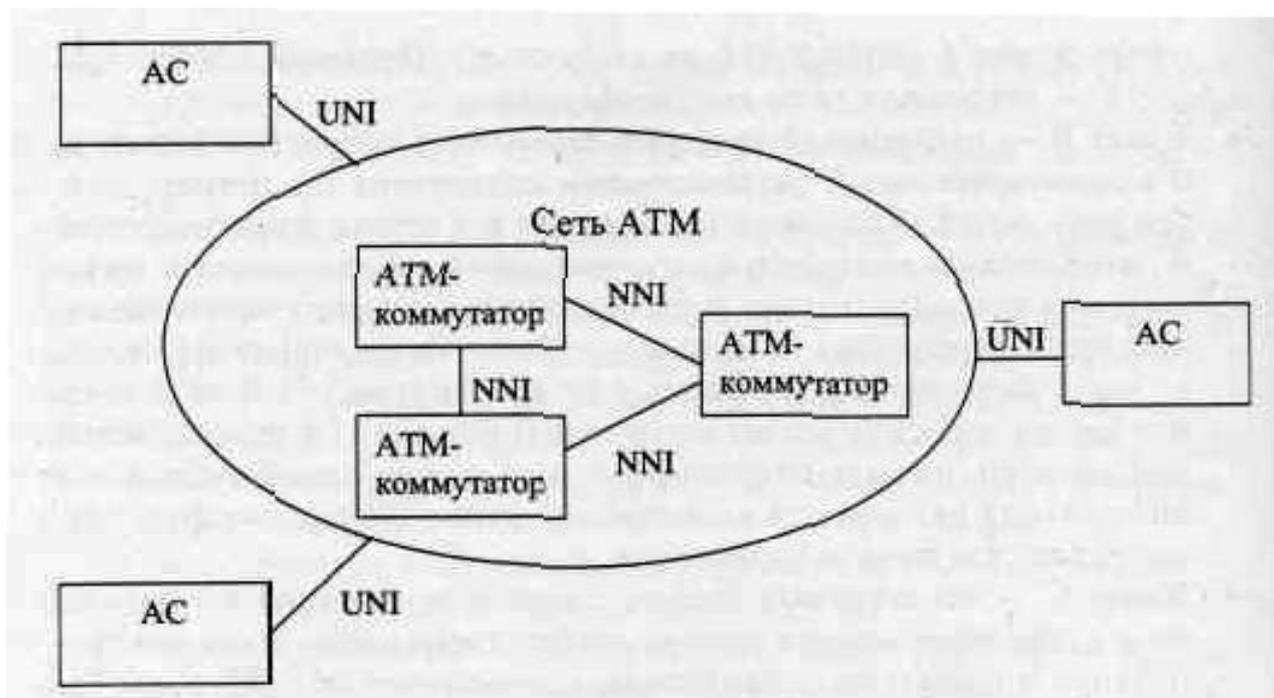
В существующих спецификациях предусмотрены четыре *класса трафика*, которые могут быть в режиме АТМ.

- **Класс А — синхронный трафик с постоянной скоростью передачи и с предварительным установлением соединения.** Протокол, обслуживающий трафик этого класса, предназначен для обеспечения потребностей в сетевых услугах при передаче информации с постоянной скоростью (передача и прием АТМ-ячеек по АТМ-пути осуществляются с одной и той же скоростью). Примеры такого трафика — *несжатая речь, видеоинформация*.

- **Класс В — синхронный трафик с переменной скоростью передачи и с предварительным установлением соединения** (например, сжатая речь, видеоинформация). Здесь, как и в случае трафика класса А, *необходимы синхронизация аппаратуры отправителя и получателя* и предварительное установление связи между ними, но допускается переменная скорость передачи. Информация передается через фиксированные промежутки времени, но ее объем в течение сеанса передачи может изменяться. Если объем передаваемой информации превышает фиксированный размер одной ячейки, эта информация разбивается на несколько ячеек, сборка которых осуществляется в пункте назначения.

- **Класс С — асинхронный трафик с переменной скоростью передачи и с предварительным установлением соединения.** Здесь синхронизации аппаратуры отправителя и получателя не требуется. Такой способ передачи необходим в сетях с коммутацией пакетов (сети X.25, Интернет, сети с ретрансляцией кадров). Трафик класса С, видимо, станет основным для передачи информации в глобальных сетях.

- **Класс D — асинхронный трафик с переменной скоростью передачи и без установления соединения.** Протокол, управляющий доставкой трафика класса D, разработан для обеспечения многобитовой коммутации данных без установления соединения. В этом протоколе предусматривается использование кадров переменной длины: с помощью передатчика каждый кадр делится на сегменты фиксированного размера, которые помещаются в АТМ-ячейки; приемник собирает сегменты в исходный кадр, завершая таким образом процесс, который называется сегментацией и сборкой. Режим асинхронной передачи основан на концепции двух конечных пунктов сети (абонентских систем, терминалов), осуществляющих связь друг с другом через совокупность промежуточных коммутаторов. При этом используются интерфейсы двух типов: интерфейс пользователя с сетью (UNI — User-to-Network Interface) и интерфейс между сетями (NNI — Network-to-Network Interface). UNI соединяет устройство конечного пользователя с общедоступным или частным АТМ-коммутатором, а NNI представляет собой канал связи между двумя АТМ-коммутаторами сети (рис. 13.4).



**Рис. 13.4.** Сеть на базе АТМ

Соединение между двумя оконечными пунктами сети (напомним, что АТМ-технология ориентирована на предварительное установление соединения) возникает с того момента, когда один из них передает через UNI запрос в сеть. Этот запрос через цепочку АТМ-коммутаторов отправляется в пункт назначения для интерпретации. Если узел-адресат принимает запрос на соединение, то в АТМ-сети между двумя пунктами организуется виртуальный канал. UNI-устройства этих пунктов и промежуточные узлы сети (т.е. АТМ-коммутаторы) обеспечивают правильную маршрутизацию ячеек за счет того, что каждая АТМ-ячейка содержит два поля — идентификатор виртуального пути (VPI

— Virtual Path Identifier (VPI) и идентификатор виртуального канала Virtual Circuit Identifier (VCI). Информация, содержащаяся в полях VPI и VCI АТМ-ячейки, используется для однозначного решения задачи маршрутизации даже в случае, если у оконечной системы организовано несколько виртуальных связей.

Движущей силой развития технологии АТМ является ее эффективность в обслуживании низкоскоростных приложений и возможность работы на сравнительно низких скоростях (от 2 Мбит/с). Говорить о «конкуренции» сетей FR и АТМ неправомерно, так как в настоящее время FR является основным интерфейсом доступа к сетям АТМ, позволяющим обеспечивать передачу по сети АТМ разнородного трафика, динамически распределяя полосу пропускания.

Совмещение разнородных телекоммуникационных сетей, построенных на базе различных технологий (X.25, FR, IP и др.), для предоставления пользователям всего спектра услуг в настоящее время возможно только при использовании технологии АТМ. Возможности этой технологии по совмещению различных ТСС возрастают, несмотря на их существенные различия, главные из которых состоят: в приспособленности к передаче разнородной информации (данных, голоса, видеoinформации); в возможности полного использования имеющейся полосы пропускания и адаптации к качеству каналов связи; в наличии и качестве интерфейсного оборудования связи с другими сетями; в степени

рассредоточенности элементов сети, а также в степени распространенности в том или ином регионе.