

1.2. Основные проблемы реализации ВС

Исходя из вышесказанного, при построении ВС практически любого типа и назначения, для обеспечения приемлемых параметров и характеристик ВС (см. ранее) необходимо решать следующие основные проблемы:

- организация надежного и высокопроизводительного обмена данными между абонентами ВС по линиям связи (общего пользования или/и выделенным, индивидуальным или разделяемым и т. п.), в том числе кодирования и декодирования информации, проверки правильности передачи/приема данных и т. п.;

- выбор рациональных, с точки зрения производительности, надежности, расширяемости и масштабируемости, структуры ВС, конфигурации (топологии) физических связей между ее абонентами (т. е. электрических соединений между ними), а также логических связей между абонентами ВС (т. е. маршрутов передачи данных);

- создание системы иерархической адресации абонентов ВС (подобной системе почтовых адресов), обеспечивающей уникальную идентификацию абонента в ВС любого типа и масштаба и сводящей к минимуму ручной труд при назначении адресов и вероятность их дублирования;

- обеспечение совместной работы в составе ВС разнотипных и разнородных аппаратных и программных средств;

- организация «прозрачного» (т. е. независимого с точки зрения пользователя от состава, физической и логической топологии ВС) доступа абонентов ВС к общесетевым ресурсам (информационным, аппаратным или программным).

1.2.1. Организация обмена данными между абонентами ВС

Для реализации обмена данными по системе связи ВС необходимо решение следующих основных задач [1, 3, 7]:

- кодирование подлежащих передаче данных, обеспечивающее их максимально компактное представление, устойчивость процесса обмена данными к их искажениям в каналах связи, а также, при необходимости, защиту данных от несанкционированного доступа; оформление подвергнутых кодированию данных в виде единиц информации, формат которых обеспечивает их доставку абоненту, которому они предназначены, и их корректное распознавание им;

- представление данных сигналами-носителями с параметрами и характеристиками, предпочтительными для передачи по тому или иному типу канала связи;

- извлечение (детектирование) данных, представляемых сигналом-носителем, из этого сигнала, их корректное распознавание и декодирование на приемной стороне;

- установление и разрыв соединения между абонентами;

- коммутация и маршрутизация данных, т. е. обеспечение их эффективной передачи от абонента-источника к абоненту-приемнику через цепь промежуточных коммутационных узлов системы связи ВС.

Кодирование данных состоит в преобразовании исходной, подлежащей передаче двоичной последовательности, в другую последовательность, которая, в общем случае, должна удовлетворять следующим требованиям:

- отсутствие избыточности, т. е. минимально необходимый для восстановления исходных данных объем сообщения;

- возможность обнаружения и исправления ошибок в сообщении, вызванных искажениями сигнала-носителя данных в канале связи;

- защита передаваемых данных от несанкционированного доступа, т. е. возможность их восстановления только при известных на приемной стороне параметрах алгоритма декодирования.

Процедуры кодирования, обеспечивающие удовлетворение вышеперечисленных требований, известны под названиями *сжатия данных*, *помехоустойчивого кодирования* и *криптографического кодирования*.

Оформление подлежащих передаче данных состоит в их представлении в виде двоичной последовательности определенного формата, в простейшем случае, содержащей:

- заранее оговоренные коды (идентификаторы) начала и конца последовательности;

- адреса отправителя и получателя;

- код типа последовательности (пользовательские данные, запрос соединения, запрос разъединения, запрос повторной передачи сообщения и т. п.);

- поле собственно данных;

- контрольные разряды, используемые для проверки наличия ошибок в последовательности и (в ряде случаев) их исправления.

Типы, структуры и форматы последовательностей, применяемых для обмена данными между абонентами ВС, вкратце будут рассмотрены далее.

Представление подлежащих передаче данных сигналами-носителями обеспечивает собственно физическую передачу информации по каналам связи ВС. Носителями данных в указанных каналах служат напряжения, токи или электромагнитное излучение микроволнового или оптического диапазона, какие-либо параметры которых (амплитуда, частота, фаза и т. п.) являются функциями от передаваемой двоичной последовательности. На первый взгляд, в качестве сигнала-носителя рационально было бы использовать непосредственно передаваемую последовательность нулей и единиц, представляемых определенными уровнями напряжения, тока или излучения. Однако по ряду причин, подробно описанных в п. 2.4, в большинстве практических случаев такое представление данных в каналах связи ВС или не обеспечивает их надежной передачи, или невозможно в принципе. Поэтому на практике в качестве сигналов-носителей данных в каналах связи ВС служат или так называемые *линейные коды*, или *модулированные синусоидальные сигналы*. При этом линейные коды представляют собой двух- или многоуровневые сигналы, формируемые по определенным правилам из передаваемой последовательности, а модулированные сигналы – синусоиду, один или несколько из параметров которой (обычно частота, фаза или амплитуда в сочетании с фазой) являются некоторыми функциями от указанной последовательности. Вопросы линейного кодирования и модуляции будут подробно освещены в пп. 2.5 и 2.6.

Извлечение данных, представляемых сигналом-носителем, из этого сигнала на приемной стороне в настоящее время осуществляется методами цифровой обработки сигналов [1, 5].

Задачи *установления и разрыва соединения между абонентами, а также коммутации и маршрутизации данных* состоят в формировании трактов передачи данных между абонентами ВС на время сеанса связи между ними.

При организации ВС с количеством абонентов, превышающим несколько десятков, практически невозможно реализовать непосредственную связь каждого из них с каждым из остальных абонентов ВС. Поэтому реальные ВС, как правило, снабжаются системой коммутационных узлов, посредством которых в процессе работы ВС могут быть сформированы тракты обмена данными между любыми двумя ее абонентами. Процедуры их формирования и носят

название коммутации и маршрутизации.

Известны два основных метода формирования указанных трактов: *коммутация каналов* и *коммутация пакетов* [2, 3, 7].

Упрощенная иллюстрация метода *коммутации каналов* представлена на рис. 1.2, *а*. Сущность этого метода состоит в формировании сквозного канала обмена данными между парой абонентов через последовательность коммутационных узлов. Данный канал предоставляется в распоряжение исключительно соответствующей пары абонентов на все время сеанса связи между ними.

Сеанс связи начинается с установления соединения между абонентами. Оно осуществляется путем передачи запроса на соединение по цепи коммутационных узлов, составляющих формируемый канал связи, от абонента-инициатора сеанса обмена данными к абоненту, отвечающему на вызов (рис. 1.2, *а*). При этом, как видно из данного рисунка, длительность интервала времени между поступлением запроса в какой-либо коммутационный узел и его подачей на следующий узел, в общем случае, различна для разных узлов, из-за различного времени обработки запросов в них. По получении отвечающим абонентом запроса на соединение он отправляет абоненту-инициатору подтверждение соединения, указывающее на то, что канал связи между ними сформирован, и может быть начат собственно обмен данными, до окончания которого указанный канал поддерживается в активном (коммутированном) состоянии. Данные по каналу передаются сплошным потоком, с постоянной скоростью, определяемой звеном с минимальной пропускной способностью, практически без задержек в промежуточных узлах.

По окончании сеанса обмена данными осуществляется размыкание соединений между коммутационными узлами, образовывавшими канал, после чего эти узлы могут использоваться для формирования канала связи между какой-либо другой парой абонентов.

В свою очередь, сущность метода *коммутации пакетов* иллюстрируется рис. 1.2, *б* и упрощенно может быть описана следующим образом. Подлежащее передаче сообщение разбивается на относительно небольшие единицы информации, называемые *пакетами*, объем которых лежит в пределах, определяемых конкретным протоколом связи. Обычно нижний из них равен нескольким десяткам байт, а верхний – нескольким килобайтам [3].

Каждый из них нумеруется в соответствии с его порядковым номером в сообщении, а также снабжается информацией, необходимой для доставки пакета по назначению (например, во многих, но не во всех практических случаях – адресом абонента-получателя). Общий принцип передачи пакетов по сети состоит в следующем.

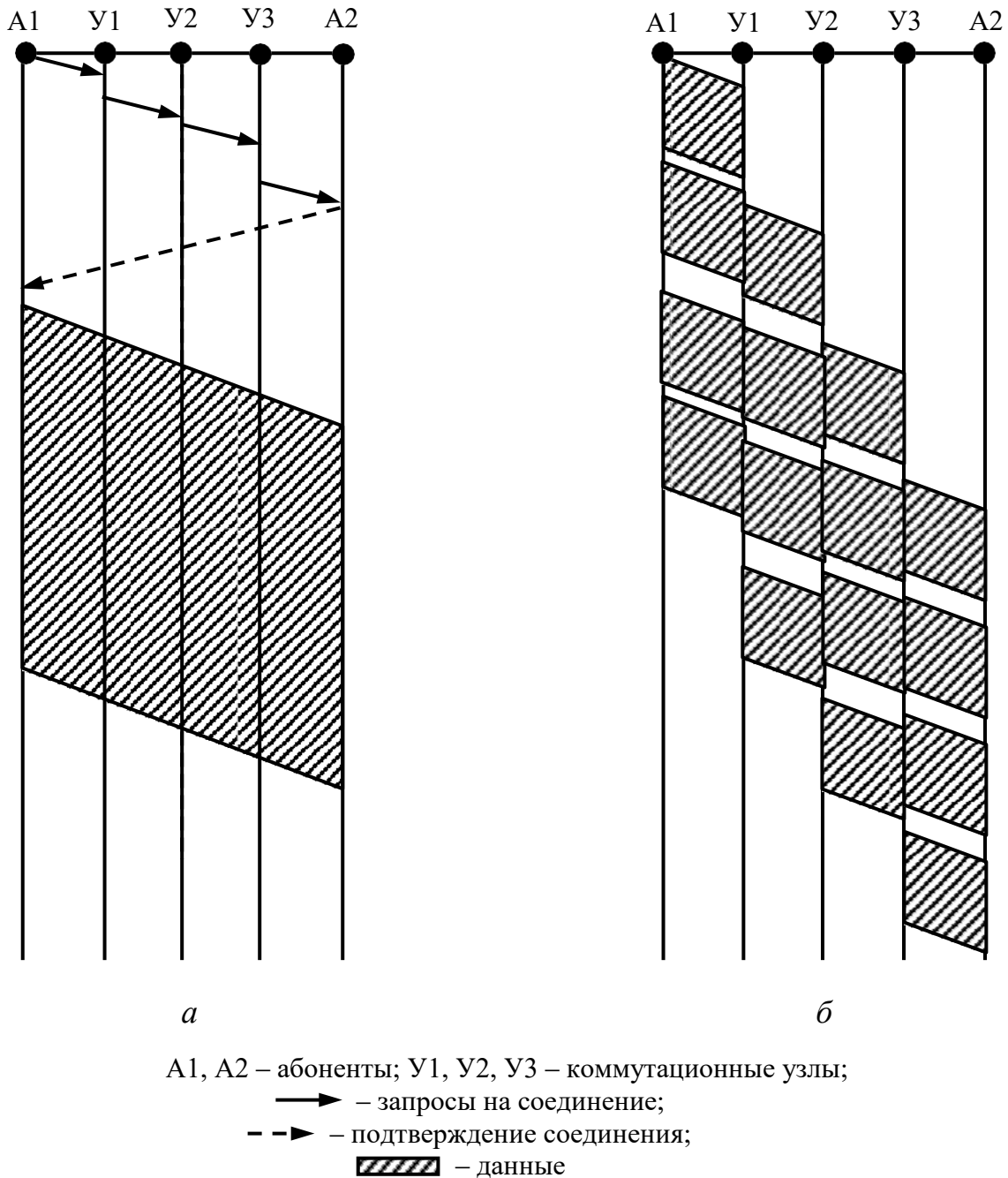


Рис. 1.2. Упрощенные иллюстрации методов коммутации каналов (а) и пакетов (б)

На основании содержащейся в пакете информации, получивший его коммутационный узел передает пакет в следующий пункт выбранного *маршрута* передачи пакетов (т. е. цепи промежуточных коммутационных узлов ВС) от этого узла к абоненту-получателю. При этом под следующим пунктом подразумевается очередной коммутационный узел, принадлежащий соответствующему маршруту. В общем случае, маршруты продвижения пакетов по сети выбираются коммутационным оборудованием, исходя из содержащейся в пакетах информации о пункте назначения, а также о требованиях к качеству их доставки. Например, для передачи пакетов компьютерного трафика, наиболее важным показателем качества доставки которых являются потери информации при продвижении пакета по сети, выбираются маршруты с минимальным уровнем ошибок обмена данными в каналах связи. В свою очередь, для продвижения по сети пакетов мультимедийного трафика, основным критерием качества передачи которых являются задержки доставки, выбираются маршруты с минимальными значениями этих задержек. Алгоритмы выбора маршрутов продвижения пакетов по сети (*маршрутизации*) будут вкратце рассмотрены ниже.

Как видно из рис. 1.2, б, времена обработки как различных пакетов в одном и том же коммутационном узле, так и одного и того же пакета в различных узлах, в общем случае, различны.

Процесс продвижения пакета по сети продолжается до его доставки абоненту-получателю. Объединение пакетов в исходное сообщение осуществляется на приемной стороне.

Основными отличиями метода коммутации пакетов от коммутации каналов являются следующие:

- не устанавливается сквозной канал связи между абонентами с постоянной скоростью передачи данных; физический канал связи формируется только между двумя соседними коммутационными узлами;

- данные передаются не сплошным потоком, а в виде последовательности отдельных, достаточно автономных единиц информации (пакетов), причем, в общем случае, пакеты одного и того же сообщения могут передаваться по разным маршрутам и прибывать в пункт назначения в порядке, не совпадающем с их номерами в сообщении;

- одна и та же цепь коммутационных узлов может использоваться несколькими парами абонентов для обмена данными;

- при коммутации пакетов промежуточные узлы снабжаются внутренней буферной памятью для временного хранения пакетов, так как, во-первых, решение о маршруте и параметрах дальнейшего продвижения пакета по сети принимается только по получении пакета целиком, а во-вторых – не исключено возникновение *очередей* пакетов, перемещаемых по одному и тому же маршруту.

Основными *способами* передачи пакетов по сети являются следующие [3]:

- *дейтаграммный* способ;
- формирование *логических соединений*;
- формирование *виртуальных каналов*.

Дейтаграммный способ продвижения пакетов по сети состоит в следующем. Все пакеты передаваемого потока данных продвигаются по сети независимо друг от друга, как самостоятельные единицы информации, называемые *дейтаграммами*. При этом продвижение по сети пакетов, принадлежащих к одному и тому же сообщению, в большинстве практических случаев осуществляется по различным *маршрутам* (т. е. через различные цепи промежуточных коммутационных узлов), однако, как правило, по одному и тому же *алгоритму маршрутизации*, т. е. выбора маршрута (см. далее). Важной отличительной особенностью дейтаграммного способа является то, что при обработке очередного пакета, в том числе при выборе маршрута его передачи, результаты передачи предыдущих пакетов не учитываются. Способ передачи пакетов по сети с *формированием логических соединений*, в отличие от дейтаграммного способа, характеризуется обработкой не каждого пакета индивидуально, а всей совокупности пакетов, передаваемой между какой-либо конкретной парой абонентов, т. е. относящихся к одному и тому же *соединению*. Основным отличием совокупной обработки пакетов соединения от индивидуальной является учет «предыстории» процесса обмена данными, т. е. результатов передачи предыдущих пакетов (например, числа потерянных пакетов и т. п.) при выборе маршрута и параметров (например, скорости) передачи последующих пакетов соединения. Все пакеты соединения обслуживаются по одним и тем же правилам; однако различные пакеты одного и того же соединения, в принципе, могут передаваться по различным маршрутам. Для обработки по различным правилам пакетов,

относящихся к различным соединениям, каждому из них присваивается индивидуальный *идентификатор*, кодом которого снабжаются все пакеты соответствующего соединения.

Следует отметить, что формирование логического соединения может осуществляться как с его *предварительным установлением*, так и без него [3].

В первом случае сеанс обмена данными начинается с передачи пакета «Запрос на установление соединения» вызывающим абонентом отвечающему. По получении последним этого пакета и при возможности установления соединения отвечающий абонент отправляет вызывающему пакет «Подтверждение установления соединения». В нем обычно указываются предлагаемые отвечающим абонентом параметры соединения (например, максимальный размер пакета и т. п.). После подтверждения соединения начинается обмен пакетами данных. По окончании сеанса обмена данными один из абонентов (обычно вызывающий) инициирует разрыв логического соединения передачей пакета «Запрос на разрыв соединения».

Формирование логического соединения без его предварительного установления не предполагает предварительного обмена пакетами запроса и подтверждения соединения между абонентами. Сеанс связи включает в себя передачу только непосредственно пакетов данных, причем обработка в коммутационных узлах каждого последующего пакета осуществляется на основании результатов передачи предыдущих пакетов (см. выше).

Нетрудно увидеть, что вариант с предварительным установлением соединения более надежен, но требует дополнительных затрат времени на обмен служебными пакетами между абонентами.

Способ с *формированием виртуальных каналов* состоит в передаче пакетов по сети от абонента-источника к абоненту-приемнику по единственному, заранее «проложенному» маршруту. Обычно «прокладка» осуществляется первым пакетом сообщения, называемым пакетом установления соединения (или пакетом-«разведчиком»). Он снабжается адресом получателя, а также специальным *идентификатором* потока данных, для которого прокладывается маршрут. Таким же идентификатором снабжаются и все остальные пакеты соответствующего потока данных. В простейшем случае, идентификатор представляет собой номер виртуального канала [3].

По мере прохождения пакета-«разведчика» по коммутационным узлам сети, на основании содержащейся в данном пакете информации, этими узлами осуществляется выбор дальнейшего

маршрута его передачи, т. е. следующего коммутационного узла, в который следует направить пакет-«разведчик». Данный процесс продолжается до достижения указанным пакетом абонента-приемника. В каждом из коммутационных узлов, по которым проходит маршрут пакета установления соединения, формируется регистрационная запись соответствующего соединения (потока данных). Она содержит его идентификатор и адрес следующего коммутационного узла, в который должны направляться пакеты этого потока, т. е. пакеты, снабженные его идентификатором. Следует также отметить, что при передаче пакетов по сети методом формирования виртуальных каналов адресами отправителя и получателя обычно снабжается только пакет установления соединения, а в пакетах данных в качестве адресной информации указывается только идентификатор соединения.

Основные достоинства и недостатки трех вышеописанных способов передачи пакетов по сети представлены в табл. 1.1 [3].

Таблица 1.1

Основные достоинства и недостатки способов передачи пакетов по сети

Способ передачи	Основные достоинства	Основные недостатки
Дейтаграммный	Отсутствие каких-либо предварительных процедур перед сеансом обмена данными. Возможность независимой работы передатчика и приемника. Возможность повышения скорости обмена данными за счет передачи пакетов одного и того же сообщения по различным маршрутам	Сложность проверки передающим абонентом факта получения пакета адресатом. Вероятность потерь пакетов. Вероятность непроизводительной загрузки сети передаваемыми «вхолостую» пакетами при неготовности адресата
С формированием логических соединений	Потенциально наивысшая эффективность использования ресурсов сети. При обмене с предварительным установлением соединения – повышенная надежность за счет разрыва соединения только при полу-	Сложность реализации. Сложность разрешения ситуаций, при которых адресат не готов к приему пакетов

	чении адресатом последнего пакета сообщения	
С формированием виртуальных каналов	Наивысшая надежность обмена данными. Простота реализации	Низкая скорость обмена данными. Наименьшая эффективность использования сетевых ресурсов

Как видно из табл. 1.1, выше рассмотренные способы передачи пакетов по сети взаимно дополняют друг друга по совокупности достоинств и недостатков. Поэтому в современных сетевых технологиях и протоколах, в принципе, используются все три вышеописанных способа [3]. Ряд сетевых технологий включает в себя протоколы, основанные на двух из этих способов или на всех трех. Например, стек протоколов TCP/IP [2, 3, 7] использует протоколы передачи пакетов по сети, основанные как на дейтаграммном способе, так и на установлении логических соединений.

Процедура выбора маршрутов передачи пакетов известна под названием *маршрутизации*. Известен ряд алгоритмов маршрутизации, относящихся к одной из следующих основных групп [1]:

- статической маршрутизации;
- адаптивной маршрутизации;
- маршрутизации от источника;
- лавинной маршрутизации;
- маршрутизации, управляемой событиями.

Алгоритмы первых двух из вышеперечисленных групп базируются на применении специальных *таблиц маршрутизации*, которые создаются и ведутся в памяти коммутационных узлов ВС. Они представляют собой совокупность записей, каждая из которых содержит адрес следующего пункта маршрута, по которому из соответствующего узла должны передаваться пакеты того или иного потока данных.

Входными данными при обращении к таблицам маршрутизации являются содержащиеся в пакетах адреса получателей или идентификаторы потока данных, а также указанные в пакетах требования к качеству их доставки (см. выше).

Таблицы маршрутизации составляются исходя из некоторых критериев. Наиболее распространены на практике следующие [3]:

- критерий кратчайшего расстояния до абонента-получателя, где под расстоянием понимается число промежуточных коммутационных

узлов маршрута между пунктом назначения пакетов соответствующего потока данных и текущим узлом;

- критерий максимальной пропускной способности маршрута;
- критерий минимальной задержки доставки пакетов по маршруту;
- критерий максимальной надежности доставки пакетов по маршруту (т. е. максимальной вероятности их доставки абоненту-получателю без ошибок);
- комплексные показатели качества маршрутов, учитывающие два или более критерия из числа вышеперечисленных.

При *статической маршрутизации* ее таблицы составляются и вводятся в память коммутационных узлов сетевыми администраторами, обычно вручную, и изменяются достаточно редко (минимум – раз в несколько дней). При значительно более распространенной на практике *адаптивной маршрутизации* ее таблицы ведутся автоматически, под управлением специального программного обеспечения, в соответствии с текущим состоянием каналов связи ВС (текущих значений пропускной способности каждого из потенциальных маршрутов передачи пакетов, текущих значений задержки доставки пакетов по каждому из них и т. п.). Сбор информации о состоянии каналов связи осуществляется путем обмена специальными тестовыми пакетами между коммутационными узлами ВС в соответствии с определенными протоколами сбора маршрутной информации. Известен ряд таких протоколов. В частности, на практике широко распространены протоколы, основанные на *дистанционно-векторных алгоритмах* (*Distance Vector Algorithms, DVA*) и *алгоритмах состояния связей* (*Link State Algorithms, LSA*). Первая из названных групп алгоритмов основывается на периодическом сборе каждым из коммутационных узлов информации об *условных расстояниях* до остальных узлов ВС. Под условным расстоянием при этом понимается параметр маршрута, прямо пропорциональный числу его промежуточных коммутационных узлов и обратно пропорциональный его пропускной способности. Алгоритмы группы LSA базируются на сборе информации о состоянии линий связи по некоторым критериям (задержкам доставки пакетов, среднему количеству ошибок на пакет при его передаче по тому или иному маршруту и т. п.).

Алгоритмы *маршрутизации от источника, лавинной маршрутизации* и *маршрутизации, управляемой событиями*, в

отличие от ранее рассмотренных, не предполагают использования таблиц маршрутизации.

Маршрутизация от источника (Source Routing, SR) состоит в указании в каждом из пакетов заранее определенного маршрута его продвижения по сети, т. е. последовательности промежуточных коммутационных узлов, через которые он должен быть передан абоненту-получателю. Маршрут или задается вручную сетевым администратором, или определяется автоматически узлом – отправителем пакета на основании данных о конфигурации и состоянии каналов связи ВС. Маршрутизация от источника ограничено использовалась на ранних этапах развития ГВС (в частности, Интернет) [3, 7]. В настоящее время она применяется крайне редко, так как при ней весьма сложно обеспечить эффективное использование каналов связи ВС.

Принцип *лавинной маршрутизации* заключается в том, что по получении пакета некоторым коммутационным узлом он передает этот пакет всем соседним с ним по сети узлам, кроме того, из которого данный пакет был получен. Этот принцип прост в реализации, однако неэффективен с точки зрения использования каналов связи ВС. В самом деле, при лавинной маршрутизации один и тот же пакет параллельно передается по множеству каналов. Тем не менее, в настоящее время лавинная маршрутизация все же ограничено применяется на практике. В частности, она используется в ЛВС при продвижении по сети блоков данных с неизвестным адресом получателя.

Маршрутизация, управляемая событиями (Event Dependent Routing, EDR) состоит в передаче пакета по маршруту, уже приводившему ранее к успеху при пересылке пакетов того же потока данных (т. е. с тем же адресом назначения). Например, согласно одному из типовых алгоритмов маршрутизации, относящихся к данной группе [3], перед отправлением пакета данных из некоторого коммутационного узла им во все соседние узлы соответствующего направления передаются запросы соединения, а пакет данных направляется в узел, подтверждение соединения от которого пришло первым. Алгоритмы маршрутизации, относящиеся к данной группе, применялись на ранних этапах развития Интернет [3, 7]; в настоящее время они мало распространены на практике.

В целом, наиболее широко применяемыми в настоящее время являются алгоритмы адаптивной маршрутизации [3].

Следует также отметить, что, кроме методов коммутации каналов и коммутации пакетов, теоретически возможно осуществлять обмен данными между отправителем и получателем также методом *коммутации сообщений*. Он аналогичен методу коммутации пакетов, за исключением того, что подлежащее передаче сообщение продвигается по сети целиком, без его разбиения на пакеты. Коммутация сообщений не нашла широкого распространения на практике, в первую очередь – из-за сложности их эффективной маршрутизации и буферизации, обусловленной широким диапазоном, в котором может находиться объем сообщений даже одного и того же потока данных. Поэтому в дальнейшем метод коммутации сообщений рассматриваться не будет.

Для дальнейшего изложения материала необходимо сопоставить между собой методы коммутации каналов и пакетов с целью выявления достоинств и недостатков каждого из них. Основные свойства указанных методов в соответствии с их вышеизложенными описаниями представлены в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Основные свойства методов коммутации каналов и пакетов

Свойство	Метод коммутации	
	Коммутация каналов	Коммутация пакетов
Необходимость формирования физического канала связи между абонентами	Есть	Нет
Возможность организации нескольких параллельно действующих маршрутов передачи данных между абонентами	Нет	Есть
Возможность одновременного использования одного и того же участка некоторого маршрута несколькими парами абонентов	Нет	Есть
Готовность сети к приему данных	Только по установлении соединения	Постоянно
Критичность выхода из строя одного из коммутационных узлов	Да	Нет
Необходимость промежуточного хранения данных в коммутационных узлах	Нет	Есть
Эффективность использования ресурсов сети при передаче трафика реального времени*	Высокая	Низкая
Эффективность использования ресурсов сети	Низкая	Высокая

при передаче «эластичного» трафика**		
* Под трафиком реального времени понимаются потоки данных, которые должны передаваться с минимально возможными задержками, например, голосовой трафик в Интернет-телефонии или видео- и аудиоданные в Интернет-телевидении. ** Под «эластичным» трафиком подразумеваются потоки данных, допускающие задержки их доставки, но не допускающие потерь информации. К потокам данных этого типа относятся практически все разновидности компьютерного трафика (см. подп. 1.1.3), например, передача текстовых и/или графических документов научно-технического содержания, электронная почта и т. п.		

На основании содержащихся в табл. 1.2 данных, можно сделать следующие выводы. Метод коммутации каналов, в общем, предпочтителен только при передаче трафика реального времени. Для компьютерного трафика, а также для тех разновидностей мультимедийного трафика, которые не критичны к задержкам доставки информации (например, видеоданных, скачиваемых для дальнейшего просмотра в режиме off-line), более предпочтителен метод коммутации пакетов. Поэтому в целом он более распространен в практике современных сетевых технологий. При этом на практике используются все три рассмотренных способа передачи пакетов по сети: дейтаграммный, с формированием логических соединений и с формированием виртуальных каналов. Из алгоритмов маршрутизации пакетов наибольшее распространение получили алгоритмы адаптивной маршрутизации.

В дальнейшем, при изложении материалов данного учебного пособия будет предполагаться, что формирование трактов обмена данными между абонентами ВС осуществляется методом *коммутации пакетов* (если не оговаривается иное).

1.2.2. Выбор рациональной структуры ВС и конфигурации связей между ее абонентами. Адресация абонентов

Как было указано ранее, структура и топология ВС, а также система адресации ее абонентов должны обеспечивать рациональное сочетание производительности, надежности, расширяемости и масштабируемости ВС.

Простейшим вариантом структуры ВС является *моноканал* [3]. Он представляет собой совокупность абонентов, каждому из которых присвоен индивидуальный адрес, соединенных между собой линиями связи таким образом, чтобы обеспечить возможность обмена данными между любыми двумя абонентами ВС. Наиболее распространенными

вариантами топологии моноканала являются полносвязная, шинная, кольцевая и звездообразная, представленные на рис. 1.3 [3].

Полносвязная топология (рис. 1.3, *а*) предполагает связь каждого из абонентов с каждым по отдельной линии. В моноканале с шинной топологией (рис. 1.3, *б*) все его абоненты параллельно подключены к одной и той же линии связи, совместно используемой ими для обмена данными. При кольцевой топологии моноканала (рис. 1.3, *в*) каждый из его абонентов соединен с двумя соседними, а связь между какими-либо двумя абонентами осуществляется через цепочку включенных между ними последовательно соединенных абонентов. Звездообразная топология (рис. 1.3, *г*) предполагает наличие в моноканале центрального распределительного узла (на рис. 1.3, *г* – изображен в центре), через который осуществляется обмен данными между любыми двумя абонентами. Функции таких узлов в настоящее время обычно выполняют коммутаторы, принципы построения и применения которых будут изложены далее, в п. 3.7.

Следует отметить, что представленные на рис. 1.3 топологии показаны весьма упрощенно. На практике для формирования моноканала определенного типа (шинного, кольцевого и т. п.) применяются специальные устройства, вопросы реализации и использования которых также будут изложены далее, в п. 3.7.

Из вышеописанных топологий *полносвязная* обеспечивает наивысшую производительность обмена данными между абонентами, однако, с другой стороны, она наиболее сложна в реализации. Поэтому она редко применяется на практике. *Звездообразная* топология характеризуется относительно низкой надежностью, обусловленной тем, что при выходе из строя центрального распределительного узла обмен данными между абонентами становится невозможным. Однако в настоящее время существуют эффективные средства минимизации вероятности возникновения такой ситуации [3]. *Кольцевая* топология обладает более высокой надежностью, чем звездообразная, так как при выходе из строя какого-либо из абонентов и, следовательно, невозможности передачи данных через него, они могут пересылаться по кольцу в противоположном направлении, например, не «по часовой стрелке», а «против» (см. рис.1.3, *в*).

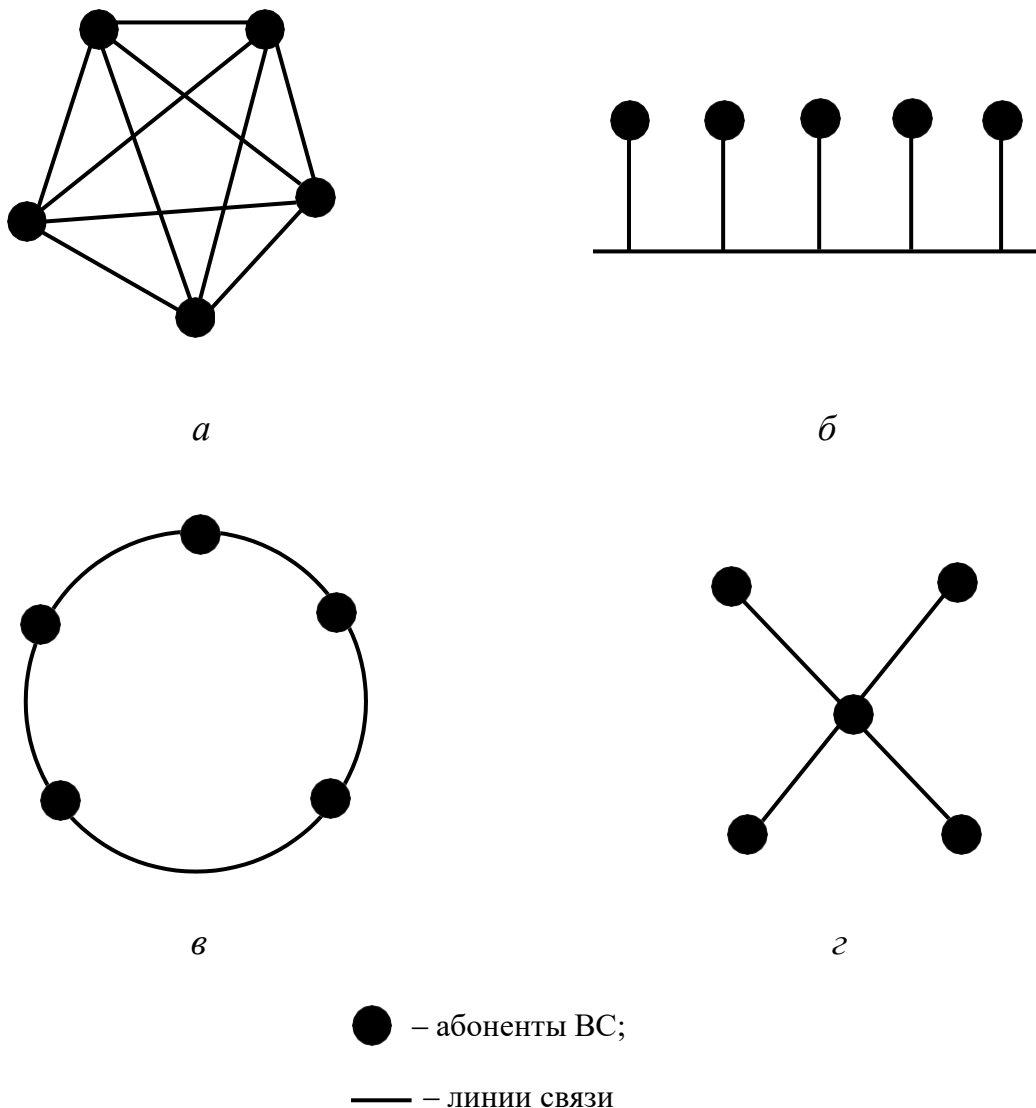


Рис. 1.3. Распространенные варианты топологии моноканала ВС:
а – полносвязная; *б* – шинная; *в* – кольцевая; *г* – звездообразная

Однако кольцевая топология характеризуется меньшей производительностью, чем шинная (см. далее), за счет необходимости передачи данных между абонентами, в общем случае, через последовательность промежуточных узлов. Поэтому «кольцо», будучи достаточно широко распространенной разновидностью топологии моноканала на ранних этапах развития ВС, в настоящее время находит относительно ограниченное применение [2, 3]. Основным недостатком *шинной* топологии являются конфликты абонентов из-за доступа к совместно используемой ими линии связи. Однако существуют достаточно эффективные способы разрешения данных конфликтов, описанные далее, в п. 3.4. В целом, в настоящее время наиболее распространенной топологией моноканала является *звездообразная с физической точки зрения* (с коммутатором в качестве центрального узла), но при этом *шинная с логической точки*

зрения, т. е. с точки зрения взаимодействия абонентов [3]. Такой подход характерен, например, для современных технологий Ethernet [3].

Более детально основы реализации моноканалов ВС будут рассмотрены в гл. 3.

Однако количество абонентов моноканала достаточно ограничено. В самом деле, при числе абонентов шинного моноканала, большем некоторого порогового значения (на практике – нескольких десятков), производительность обмена данными между ними резко снижается из-за частых конфликтов и очередей при доступе к совместно используемой линии связи. То же имеет место при кольцевой топологии моноканала. Звездообразная топология моноканала также характеризуется резким снижением производительности при числе абонентов, большем некоторой пороговой величины, обусловленным очередями данных в центральном распределительном узле.

Ввиду вышесказанного, по структуре моноканала реализуются только наиболее простые ВС (ЛВС с количеством абонентов до нескольких десятков). При числе абонентов ВС, большем нескольких десятков, ее реализация в виде моноканала является нерациональной. Одним из наиболее распространенных подходов к построению таких ВС является их реализация в виде *сегментированных коммутируемых ВС*. Они представляют собой совокупность связанных между собой *сегментов*, т. е. моноканалов с определенной топологией, например, шинной, и с числом абонентов, не более некоторого задаваемого конкретными стандартами ВС. При этом каждому из абонентов присваивается индивидуальный адрес в пределах всей сети (а не отдельного сегмента), т. е. сегментированная ВС, как и моноканал, характеризуется *одноуровневой* системой адресации. Все сегменты используют одни и те же стандарты (протоколы) кодирования, оформления и представления данных. Связь между сегментами осуществляются посредством специальных устройств, наиболее распространенными из которых являются *коммутаторы (switches)* [3]. Применяются и другие типы коммутационных устройств [2, 3, 7]. Их основной функцией является передача данных только в тот сегмент, в котором находится абонент-получатель. Это «разгружает» другие сегменты от не предназначенных им данных и, как следствие, повышает производительность ВС в целом. Коммутационные устройства функционируют на основе хранящихся в их памяти *адресных таблиц*,

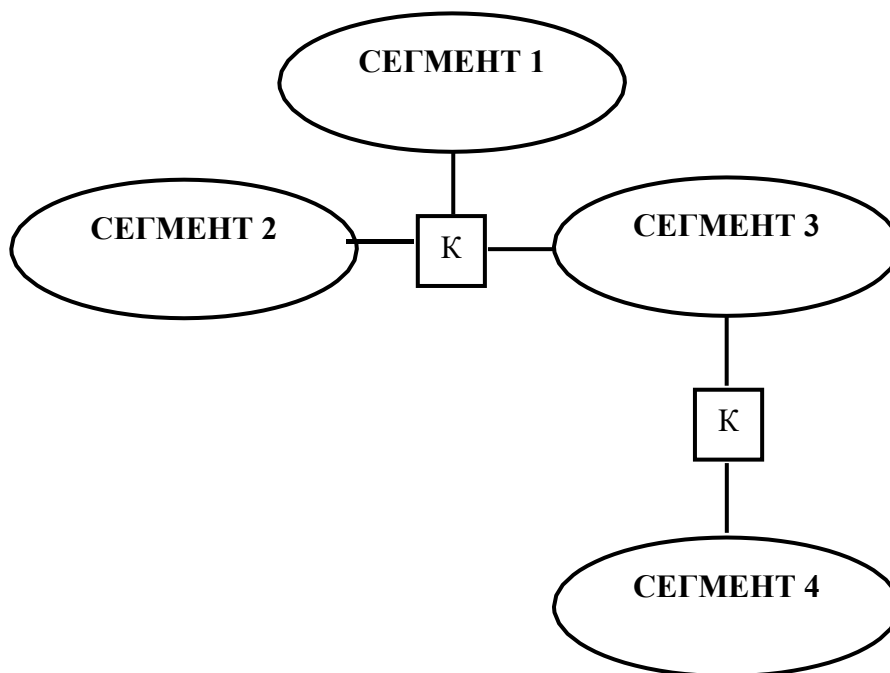
устанавливающих соответствие между адресом абонента и номером сегмента, в котором он находится. Эти таблицы создаются или сетевым администратором, или (чаще) автоматически, в процессе «само-обучения» [3].

Пример упрощенной структуры фрагмента сегментированной коммутируемой ВС представлен на рис. 1.4.

Более детально принципы реализации сегментированных коммутируемых ВС будут описаны в гл. 3.

В виде сегментированных коммутируемых сетей часто строятся ЛВС. Во многих практических случаях такой подход достаточен для обеспечения их приемлемой производительности. Однако при построении ГВС, а в ряде случаев – и крупных ЛВС, только разбиение ВС на коммутируемые сегменты является недостаточным для ее эффективной реализации. Основными причинами этого являются следующие [3]:

- низкая пропускная способность и надежность сегментированных коммутируемых ВС при достаточно большом количестве сегментов, обусловленная необходимостью существования *единственного* пути между любыми двумя абонентами такой ВС для корректной работы ее коммутационных устройств, в то время как для обеспечения приемлемых пропускной способности и надежности достаточно крупной ВС необходимо существование *нескольких* таких путей [3];



К – коммутаторы

Рис. 1.4. Пример упрощенной структуры фрагмента сегментированной коммутируемой ВС

- сложность или невозможность объединения в составе сегментированной коммутируемой ВС фрагментов с различными стандартами (протоколами) кодирования, оформления и представления данных, в то время как существование таких фрагментов в пределах ГВС или крупной ЛВС практически неизбежно.

Поэтому ГВС и, в ряде практических случаев, достаточно крупные ЛВС, обычно реализуются в виде *составных сетей (интерсетей)*, в англоязычной литературе – *internetworks* или *internets* (не путать с названием Всемирной сети *Internet*).

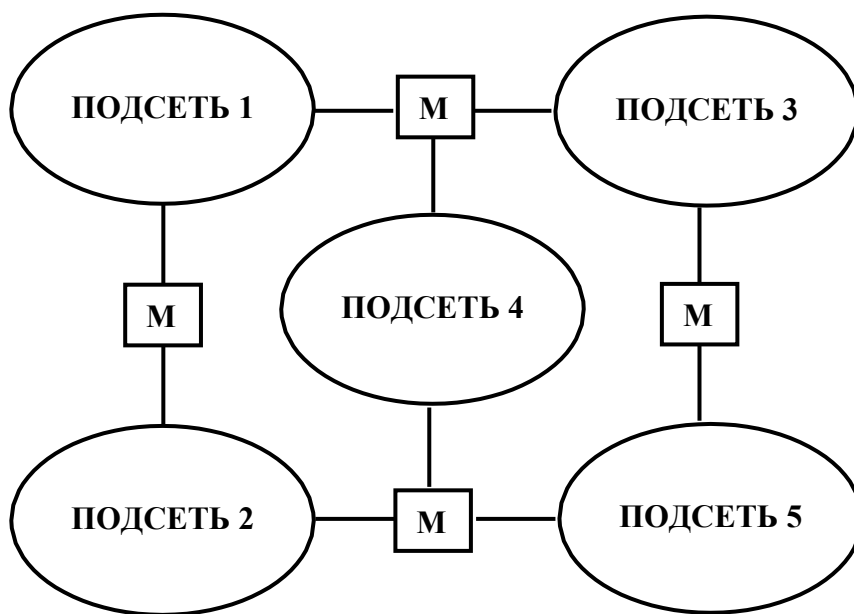
Упрощенная структура фрагмента интерсети представлена на рис. 1.5.

Интерсеть строится как совокупность взаимно связанных *подсетей (subnets)*, каждая из которых, в свою очередь, обычно представляет собой сегментированную ЛВС на основе коммутаторов (см. рис. 1.4). В общем случае, подсети используют различные стандарты (протоколы) кодирования, оформления и представления данных, однако эти стандарты (протоколы) едины в пределах каждой из подсетей. Для обмена данными между ними служат устройства, называемые *маршрутизаторами* (в англоязычной литературе –

routers).

В литературе их также часто называют *шлюзами (gateways)*, хотя, строго говоря, данное название применимо только к маршрутизаторам, соединяющим между собой подсети, реализованные в соответствии с различными стандартами [2, 3, 7]. Маршрутизаторы выполняют следующие основные функции [1]:

- выбор маршрутов передачи данных между подсетями, наиболее рациональных по некоторым критериям (см. подп. 1.2.1);



М – маршрутизаторы

Рис. 1.5. Упрощенная структура фрагмента интерсети

- взаимное преобразование (трансляция) данных при обмене ими между подсетями с различными стандартами (протоколами) их кодирования, оформления и представления.

Как правило, маршрутизаторы строятся на основе специализированных компьютеров, снабженных интерфейсными блоками для подключения к подсетям, а также программным обеспечением, реализующим процедуры маршрутизации и преобразования данных. Реже маршрутизаторы реализуются в виде программных моделей на компьютерах общего назначения.

В составных ВС, в отличие от ранее рассмотренных, применяется *двухуровневая* система адресации. Каждому из абонентов ВС присваиваются два адреса:

- *сетевой* адрес, уникальный (не повторяющийся) в пределах сети в целом, назначаемый сетевым администратором и обычно состоящий из двух частей – номера подсети и номера абонента;

- *локальный (аппаратный)* адрес, действующий только в пределах подсети, в которой находится абонент; данный адрес называется аппаратным, так как обычно он присваивается сетевому оборудованию абонентов при его изготовлении.

При этом следует отметить, что каждый из маршрутизаторов является абонентом нескольких подсетей и, как следствие, каждому из его портов присваиваются собственный сетевой и локальный адреса.

Процесс обмена данными между абонентами составной сети осуществляется следующим образом. Пакеты (см. подп. 1.2.1) при их передаче по каждой из подсетей оформляются маршрутизаторами в кадры, обобщенный формат которых представлен на рис. 1.6.



Рис. 1.6. Обобщенный формат кадра подсети, входящей в составную сеть

Пакет инкапсулируется («вкладывается») в кадр в качестве его поля данных, аналогично тому, как письмо вкладывается в конверт. В свою очередь, роль «конверта» при этом играют заголовок и концевик кадра, оформляемые в соответствии со стандартами подсети, в которую он направляется. Заголовки как кадра, так и пакета включают в себя адресную информацию, однако различных уровней. Заголовок пакета содержит сетевые адреса его отправителя и получателя, т. е. начального и конечного пунктов его маршрута по сети в целом, а заголовок кадра – локальные адреса маршрутизатора-отправителя и маршрутизатора-получателя пакета в пределах подсети, в которую он направляется, т. е. начального и конечного пунктов его продвижения по этой подсети. При этом локальный адрес получателя определяется маршрутизатором-отправителем в соответствии с указанными в заголовке пакета

сетевыми адресами абонента-отправителя и получателя, применяемым способом передачи пакетов, а также алгоритмом маршрутизации

После оформления кадра он представляется сигналом-носителем в соответствии со стандартами подсети, в которую он направляется, и передается маршрутизатору-получателю. Последний извлекает из кадра содержащийся в нем пакет и, на основании имеющейся в заголовке пакета адресной и служебной информации, а также используемого способа маршрутизации, определяет подсеть, в которую следует направить пакет, и локальный адрес маршрутизатора - получателя пакета в этой подсети. Затем он оформляется в кадр в соответствии со стандартами указанной подсети, и направляется очередному маршрутизатору-получателю. Данный процесс продолжается до достижения пакетом конечного пункта назначения.

Детальное изложение основ реализации составных сетей будет представлено в гл. 4.

Основными преимуществами составной сети, по сравнению с более простыми вариантами реализации ВС (сегментированной сетью и моноканалом), являются следующие:

- возможность использования различных сетевых технологий (стандартов, протоколов) в рамках сети, что является необходимым условием реализации крупных ВС, в частности, ГВС;
- возможность организации нескольких параллельных маршрутов передачи данных между двумя абонентами ВС, что повышает производительность и надежность сети.

Благодаря этим преимуществам, принцип составной сети в настоящее время является наиболее распространенным при реализации достаточно крупных ЛВС, а также ГВС (в том числе Интернет).

С другой стороны, составные ВС характеризуются относительно высокой сложностью. Поэтому применение технологий составных сетей не оправдано при построении сравнительно простых ЛВС, однородных с точки зрения используемых сетевых стандартов (протоколов). Такие ЛВС, как правило, реализуются в виде сегментированных коммутируемых ВС или (реже) моноканалов.

В заключение следует отметить, что кроме вышеописанных базовых структурных решений ВС, известен и ряд других [3], а представленное выше изложение принципов структурно-топологической организации ВС является весьма упрощенным. Детальное описание указанных принципов будет приведено в гл. 3 и 4.

1.2.3. Обеспечение совместной работы в составе ВС разнотипных и разнородных средств. Организация «прозрачного» доступа абонентов ВС к общесетевым ресурсам

Решение данных проблем осуществляется путем реализации сетевых аппаратных средств и сетевого программного обеспечения (ПО) по принципу *открытых систем*, т. е. в соответствии с *открытыми*, общедоступными стандартами, протоколами и рекомендациями, едиными в пределах сети или подсети. Это позволяет без существенных материальных и временных затрат объединять в составе одной и той же ВС разнотипные (в том числе от разных производителей) сетевые аппаратные средства, коммутационное оборудование и компьютеры, а также обеспечивать корректное взаимодействие их ПО. Кроме того, при взаимной совместимости сетевых аппаратных и программных средств по стандартам / протоколам и рекомендациям, процессы установления связи между абонентами ВС, преобразования и продвижения данных по сети реализуются автоматически и «незаметно» или «малозаметно» для пользователей ВС, т. е. имеет место их «прозрачный» доступ к сетевым ресурсам.

Вообще говоря, для построения работоспособной ВС необходимо обеспечить взаимную совместимость сетевых аппаратных и программных средств по весьма большому количеству разнообразных стандартов и рекомендаций [2, 3, 7]. При этом некоторые из них должны соблюдаться в пределах всей сети, некоторые – только в пределах одной подсети, одни должны поддерживаться пользовательским ПО, другие – маршрутизаторами, и тому подобное. Таким образом, указанные стандарты / протоколы и рекомендации должны быть сгруппированы и упорядочены в зависимости от функций обмена данными, реализация которых обеспечивается соблюдением тех или иных протоколов и/или рекомендаций. Их группирование и упорядочивание осуществляется на основе иерархических многоуровневых *моделей взаимодействия абонентов ВС в процессе обмена данными*.

Указанные модели являются одним из базовых вопросов теории и практики ВС, поэтому ему посвящается отдельный пункт.