

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**  
**«Инфокоммуникационные системы и сети»**

## Раздел 1 Основные понятия и типы инфокоммуникационных сетей

### Тема 1.1 Применение инфокоммуникационных сетей

#### 1. Сети в организациях

Для соединения сетей, расположенных в разных местах, могут быть использованы сети, называемые VPN (Virtual Private Networks — виртуальные частные сети).

Проще всего информационную систему компании можно представить себе, как совокупность одной или более баз данных с информацией компании и некоторого количества работников, которым удаленно предоставляется информация. В этом случае данные хранятся на мощном компьютере, называемом сервером. Довольно часто сервер располагается в отдельном помещении и обслуживается системным администратором.

С другой стороны, компьютеры служащих могут быть менее мощными, они идентифицируются в сети как клиенты, могут в большом количестве располагаться даже в пределах одного офиса и иметь удаленный доступ к информации и программам, хранящимся на сервере.

Клиентская и серверная машины объединены в сеть, как показано на рис. 1.1.

Такая система называется клиент-серверной моделью. Она используется очень широко и зачастую является основой построения всей сети.

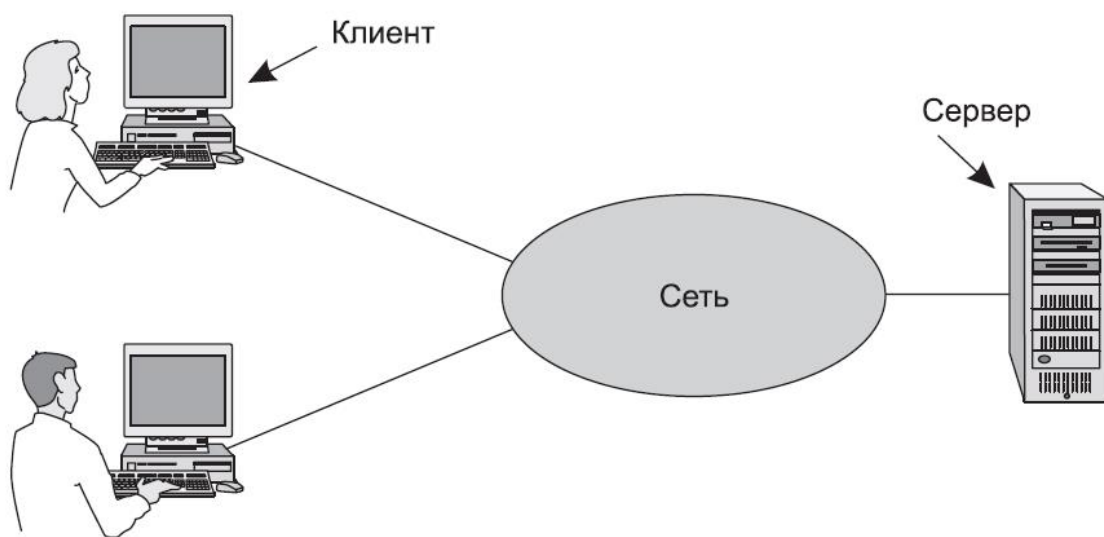


Рисунок 1.1 — Сеть, состоящая из двух клиентов и одного сервера

В работе сети можно всегда выделить два процесса: серверный и клиентский. Клиент посылает запрос серверу через сеть и начинает ожидать ответ. При принятии запроса сервер выполняет определенные действия или ищет запрашиваемые данные, затем отправляет ответ (рис. 1.2).

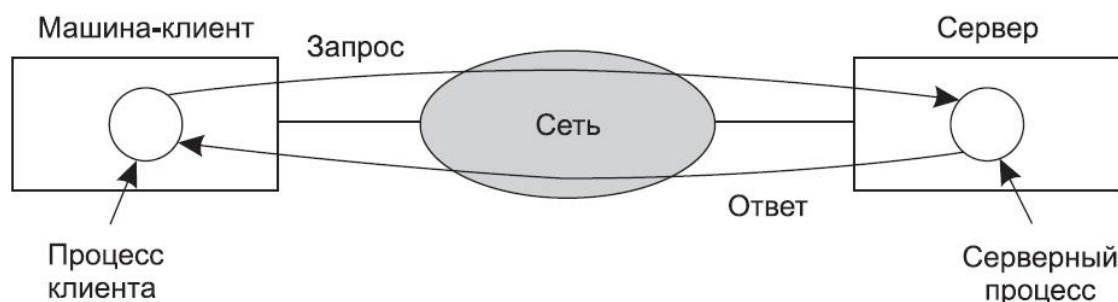


Рисунок 1.2 — Запросы и ответы в модели «клиент-сервер»

Сеть — это коммуникационная среда для работников предприятия. Почти в любой компании найдется хотя бы один компьютер, умеющий принимать и отправлять электронную почту (e-mail).

Телефонные звонки между служащими могут передаваться по компьютерной сети, вместо телефонной. Эту технологию называют IP-телефонией или VoIP (Voice over IP).

## 2. Использование сетей частными лицами

Доступ к большей части информации осуществляется по модели клиент-сервер, но есть и другой популярный тип сетевого общения, основанный на технологии равноправных сетей (peer-to-peer).

Люди, входящие в некоторую группу пользователей, могут общаться друг с другом. В принципе, каждый может связаться с каждым, разделение на клиентские и серверные машины в этом случае отсутствует (рис. 1.3).

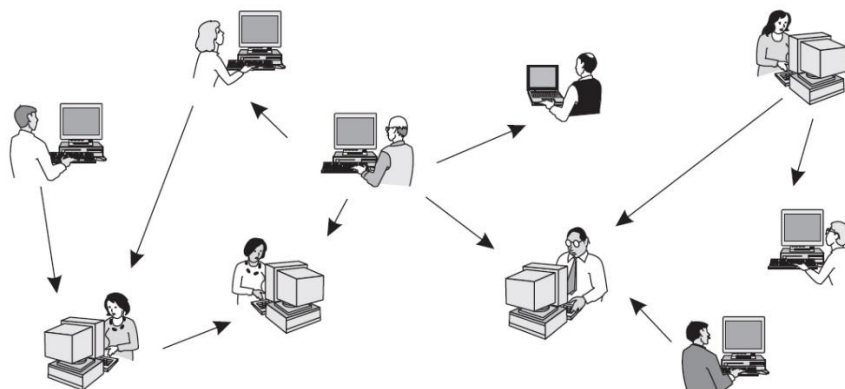


Рисунок 1.3 — Равноранговая сеть

Промежуточное положение между коммуникациями от человека к человеку и доступом к информации занимают социальные сети. Здесь поток информации управляется отношениями, которые люди объявляют друг между другом. Один из самых популярных сайтов социальных сетей — Facebook. Он позволяет обновлять свои личные профили и получать общий доступ к этим обновлениям с теми, кого они объявили своими друзьями. Другие приложения социальных сетей могут быть представлены через друзей, посылать сообщения новостей друзьям, такие как упомянутый выше Twitter, и многое другое.

Еще более свободно группы людей могут сотрудничать, создавая контент. Технология wiki, например, это веб-сайт, который совместно редактируют члены сообщества. Самая известная wiki — Википедия, энциклопедия, которую любой может редактировать, но есть тысячи других сайтов wiki.

Третьей категорией является электронная коммерция в самом широком смысле слова. Закупка продуктов и вещей для дома через Интернет уже давно стала привычным делом. Электронная коммерция широко используется и в другом серьезном направлении: организуется доступ к финансовым учреждениям.

Еще одна область, которую вряд ли кто-то мог предвидеть, это электронные «блошинные» рынки (аукционы).

Обозначение	Полное название	Пример
B2C	Коммерсант клиенту (Business-to-Consumer)	Заказ книг в режиме on-line
B2B	Коммерсант коммерсанту (Business-to-Business)	Производитель автомобилей заказывает покрышки у поставщика
G2C	Государство клиенту (Government-to-Client)	Распространение бланков квитанций через Интернет
C2C	Клиент клиенту (Client-to-Client)	Продажа подержанных вещей
P2P	Равноранговые сети (Peer-to-Peer)	Совместный доступ к музыкальным файлам

Рисунок 1.4 — Некоторые формы электронной коммерции

Четвертая категория — развлечения. Она делает огромные успехи в последние годы с распространением музыки, радио- и телевизионных программ и фильмов в Интернете, начинающем конкурировать с традиционными механизмами. Пользователи могут найти, купить и загрузить песни в MP3 и фильмы качества

DVD и добавить их в свою личную коллекцию. Телевизионные программы многие смотрят теперь по системе IPTV (IPTeleVision), которая основана на IP-технологии вместо кабельного телевидения или радиопередач.

Другая форма развлечения — игры. Сейчас очень популярны игры-симуляторы в реальном времени с большим количеством участников. Виртуальные миры обеспечивают постоянное место действия, где тысячи пользователей могут иметь совместный доступ к виртуальной реальности с трехмерной графикой.

Последняя категория — «вездесущие вычисления», когда вычисления встроены в повседневную жизнь. Во многих домах уже установлены системы обеспечения безопасности, которые включают датчики на дверях и окнах и еще много вариантов датчиков, которые могут быть подключены к умному домашнему монитору, например, контролирующим потребление энергии.

Технология под названием RFID (Radio Frequency Identification, радиочастотная идентификация) используется для передачи информации от метки к считывающему устройству. Метки RFID пассивны (то есть не имеют никакой батареи), имеют размер почтовой марки и уже могут быть прикреплены к книгам, паспортам, домашним животным, кредитным картам и другим элементам дома и на улице. Это позволяет считывателям RFID определять местонахождение и «общаться» на расстоянии до нескольких метров, в зависимости от вида RFID.

### 3. Использование беспроводных сетей

Соединение с Интернетом делает доступным полезные мобильные возможности. Так как обычные сети, в которых информация передается по проводам, невозможно использовать в машине, лодке или самолете, люди проявляют большой интерес к беспроводным сетям. Сотовые сети, которыми управляют телефонные компании, — это хорошо известный вид беспроводной сети, которая осуществляет покрытие для использования мобильных телефонов. Другой вид беспроводной сети для мобильных компьютеров — беспроводные точки доступа, основанные на стандарте 802.11.

Умные телефоны (Smart Phones), такие как популярный iPhone, комбинируют аспекты мобильных телефонов и мобильных компьютеров. Сотовая связь третьего и четвертого поколений, с помощью которой они соединяются, может обеспечить

быстрые информационные службы для использования Интернета, так же как для обработки телефонных звонков.

Так как мобильные телефоны знают свое местоположение, часто потому что они оборудованы GPS (Система глобального позиционирования), некоторые службы зависят от местоположения.

Сенсорные сети состояются из узлов, которые собирают информацию о состоянии материального мира и с помощью беспроводных технологий передают ее. Узлы могут быть частью знакомых элементов, таких как автомобили или телефоны, или отдельными маленькими устройствами. Например, ваш автомобиль мог бы собрать данные о своем местоположении, скорости, вибрации и топливной экономичности от своей бортовой диагностической системы и загрузить эту информацию в базу данных.

#### 4. Социальный аспект

Социальные сети, доски объявлений, сайты для хранения контента и узлы с другими приложениями позволяют людям делиться своими взглядами с аналогично мыслящими людьми.

Фишинговые сообщения (phishing messages) притворяются происходящими из заслуживающего доверия источника, например, вашего банка, и пытаются узнать от вас частую информацию, например, номер кредитной карточки. Хищение личных данных становится серьезной проблемой, поскольку воры собирают достаточно информации о жертве, чтобы получить кредитные карты и другие документы на имя жертвы.

### **Тема 1.2. Типы инфокоммуникационных сетей**

Если смотреть в общих чертах, существует два типа технологии передачи:

- широковещательные сети.
- сети с передачей от узла к узлу.

Сети с передачей от узла к узлу состоят из соединенных пар машин. Чтобы пойти от источника до места назначения в сети, составленной из двухточечных линий, коротким сообщениям, называемым в определенных контекстах пакетами, вероятно, придется сначала посетить одну или несколько промежуточных машин.

Часто возможны несколько маршрутов различных длин, поэтому в двухточечных сетях важно найти лучшие из них.

Двухточечную передачу с ровно одним отправителем и ровно одним получателем иногда называют однонаправленной передачей (unicasting).

Широковещательные сети существенно отличаются тем, что обладают единым каналом связи, совместно используемым всеми машинами сети. Пакеты посылаются одной машиной, а получаются всеми машинами. Поле адреса в каждом пакете указывает, кому направляется сообщение. При получении пакета машина проверяет его адресное поле. Если пакет адресован этой машине, она его обрабатывает. Пакеты, адресованные другим машинам, игнорируются.

Широковещательные сети также позволяют адресовать пакет одновременно всем машинам с помощью специального кода в поле адреса. Когда передается пакет с таким кодом, он получается и обрабатывается всеми машинами сети. Такая операция называется широковещательной передачей. Некоторые широковещательные системы также предоставляют возможность посылать сообщения подмножеству машин, и это называется многоадресной передачей.

Другим признаком классификации сетей является их размер.

Расстояние между процессорами	Процессоры расположены	Пример
1 м	На одном квадратном метре	Персональная сеть
10 м	Комната	Локальная сеть
100 м	Здание	
1 км	Кампус	
10 км	Город	Муниципальная сеть
100 км	Страна	Глобальная сеть
1000 км	Континент	
10 000 км	Планета	Интернет

Рисунок 1.5 — Классификация многопроцессорных систем по размеру

Персональные сети (PAN) позволяют общаться устройствам вблизи человека. Типичный пример — беспроводная сеть, которая соединяет компьютер с его периферийными устройствами. Почти у каждого компьютера есть присоединенный монитор, клавиатура, мышь и принтер. При отсутствии беспроводной сети они должны быть присоединены кабелями. Очень многие новые пользователи испытывают трудности с поиском нужных кабелей и включением их в нужные отверстия (даже при том, что они обычно обозначены соответствующим цветом), поэтому большинство продавцов компьютеров предлагают опцию визита специалиста. Чтобы помочь этим пользователям, несколько компаний собрались для разработки беспроводной сети малой дальности, названной Bluetooth, чтобы соединять компоненты без проводов.

Локальными сетями (LAN) называют частные сети, размещающиеся, как правило, в одном здании или на территории какой-либо организации. Их часто используют для объединения компьютеров и рабочих станций в офисах компании или предприятия бытовой электроники для предоставления совместного доступа к ресурсам (например, принтерам) и обмена информацией. Когда локальные сети используются предприятиями, их называют сетью предприятия (enterprise networks).

Муниципальные сети (metropolitan area network, MAN) объединяют компьютеры в пределах города. Самым распространенным примером муниципальной сети является система кабельного телевидения. Она стала правопреемником обычных антенных телесетей в тех местах, где по тем или иным причинам качество эфира было слишком низким. Общая антенна в этих системах устанавливалась на вершине какого-нибудь холма, и сигнал передавался в дома абонентов.

Глобальная сеть (wide area network, WAN) охватывает значительную географическую область, часто целую страну или даже континент. Мы начнем разговор о них с проводных глобальных сетей, используя в качестве примера компанию, имеющую подразделения в разных городах. В большинстве глобальных сетей подсеть состоит из двух отдельных компонентов: линий связи и переключающих элементов. Линии связи переносят данные от машины к машине. Они могут представлять собой медные провода, оптоволокно или даже радиосвязь. Большинство компаний



не имеют собственных линий связи, поэтому они арендуют их у телекоммуникационной компании.

Существующие ныне сети часто используют различное оборудование и программное обеспечение. Люди, связанные с одной сетью, хотят общаться с людьми, подключенными к другой. Для выполнения этого желания необходимо объединить вместе различные и часто несовместимые сети. Набор соединенных сетей называется интерсетью (internetwork, internet).

Интернет — всемирная сеть, являющаяся одной из интерсетей. Интернет использует сети провайдеров, чтобы соединить сети предприятий, домашние сети и многие другие.

### **Тема 1.3. Сетевое программное обеспечение**

Для упрощения структуры большинство сетей организуются в наборы уровней или слоев, каждый последующий возводится над предыдущим. Количество уровней, их названия, содержание и назначение разнятся от сети к сети. Однако во всех сетях целью каждого уровня является предоставление неких сервисов для вышестоящих уровней. При этом от них скрываются детали реализации предоставляемого сервиса.

Такая концепция не нова и используется в вычислительной технике уже давно. Ее вариации известны как сокрытие информации, абстрактные типы данных, свойство инкапсуляции и объектно-ориентированное программирование. Фундаментальной идеей является предоставление неким программным или аппаратным уровнем сервисов своим пользователям без раскрытия деталей своего внутреннего состояния и подробностей алгоритмов.

Уровень  $n$  одной машины поддерживает связь с уровнем  $n$  другой машины. Правила и соглашения, используемые в данном общении, называются протоколом уровня  $n$ . По сути, протокол является договоренностью общающихся сторон о том, как должно происходить общение. По аналогии, когда женщину представляют мужчине, она может протянуть ему свою руку. Он, в свою очередь, может принять решение либо пожать, либо поцеловать эту руку, в зависимости от того, является ли эта женщина американским адвокатом на деловой встрече или же европейской

принцессой на официальном балу. Нарушение протокола создаст затруднения в общении, а может и вовсе делает общение невозможным.

Набор уровней и протоколов называется архитектурой сети. Спецификация архитектуры должна содержать достаточно информации для написания программного обеспечения или создания аппаратуры для каждого уровня, чтобы они корректно выполняли требования протокола. Ни детали реализации, ни спецификации интерфейсов не являются частями архитектуры, так как они спрятаны внутри машины и не видны снаружи. При этом даже не требуется, чтобы интерфейсы на всех машинах сети были одинаковыми, лишь бы каждая машина правильно применяла все протоколы. Список протоколов, используемых системой, по одному протоколу на уровень, называется стеком протоколов.

Абстракция одноранговых процессов является ключевой для проектирования сетей. С ее помощью невыполнимая задача разработки целой сети может быть разбита на несколько меньших по размеру и вполне разрешимых проблем разработки, а именно разработки индивидуальных уровней.

Надежность — проблема проектирования создания сети, которая работает правильно, даже если она составлена из набора компонентов, которые сами по себе ненадежны. Думайте о битах пакета, перемещающегося по сети. Есть шанс, что некоторые из этих битов будут получены поврежденными (инвертированными) из-за случайного электрического шума, случайных беспроводных сигналов, недостатков аппаратных средств, ошибок программного обеспечения и т. д. Возможно ли находить и исправлять эти ошибки?

Один из механизмов, для того чтобы найти ошибки в полученной информации использует коды для обнаружения ошибок. Информация, которая неправильно получена, может быть передана повторно, пока она не будет получена правильно. Более сильные коды учитывают устранение ошибки, где правильное сообщение восстанавливается из первоначально неправильно полученных битов. Оба эти механизма работают, добавляя избыточную информацию. Они используются в нижних уровнях, чтобы защитить пакеты, посланные по отдельным каналам, и в верхних уровнях, чтобы проверить, что было получено правильное содержание.

Другая проблема надежности — найти рабочий путь через сеть. Часто есть разнообразные пути между источником и местом назначения, а в большой сети некоторые каналы или маршрутизаторы могут выйти из строя. Предположите, что в Германии сеть вышла из строя. Пакеты, посланные из Лондона в Рим через Германию, не будут проходить, но мы могли вместо этого послать пакеты из Лондона в Рим через Париж. Сеть должна автоматически принять это решение. Эта тема носит название маршрутизации.

Вторая проблема проектирования касается развития сети. В течение долгого времени сети становятся больше, и появляются новые проекты, которые должны быть соединены с существующей сетью. Мы видели, что основной механизм структурирования, поддерживающий изменения — делить полную проблему и скрывать детали выполнения: иерархическое представление протокола. Существует и много других стратегий.

Когда в сети много компьютеров, каждый уровень нуждается в механизме для того, чтобы идентифицировать отправителей и получателей для каждого сообщения. Этот механизм называют адресацией или наименованием соответственно в нижних и верхних уровнях.

Аспект роста заключается в том, что у различных сетевых технологий часто есть различные ограничения. Например, не все каналы связи сохраняют порядок сообщений, посланных по ним, приводя к решению нумеровать сообщения. Другой пример — различия в максимальном размере сообщения, которое могут передать сети. Это приводит к механизмам для того, чтобы разделять, передавать и затем повторно собирать сообщения. Эту тему называют работа с объединенной сетью. Когда сети становятся большими, возникают новые проблемы. В городах могут быть пробки, нехватка номеров телефона и возможность легко потеряться. Не у многих людей есть эти проблемы вблизи дома, но, охватив весь город, они могут быть большой проблемой. Проекты, которые продолжают работать хорошо, когда сеть становится большой, как говорят, масштабируемы.

Третья проблема проектирования — распределение ресурсов. Сети оказывают услугу узлам из их основных ресурсов, таких как способность линий передачи.

Чтобы сделать это хорошо, они нуждаются в механизмах, которые делят их ресурсы так, чтобы один узел не слишком мешал работе другого.

Последняя главная проблема устройства сети — обеспечить сеть защитой от различных видов угроз. Одна из угроз, которые мы упомянули ранее, — подслушивание коммуникаций. Механизмы, которые обеспечивают конфиденциальность, защищают от этой угрозы, и они используются во многих уровнях. Механизмы для аутентификации препятствуют тому, чтобы кто-то исполнил роль кого-то другого. Они могли бы использоваться, чтобы отличать поддельные банковские веб-сайты от реальных или позволить сотовой связи проверять, что вызов действительно происходит из вашего телефона, чтобы вы оплатили счет. Другие механизмы для целостности предотвращают тайные изменения сообщений, таких как изменение «снимите с моего счета \$10» на «снимите с моего счета \$1000».

Уровни могут предлагать вышестоящим уровням услуги двух типов: с наличием или отсутствием установления соединения. Типичным примером сервиса с установлением соединения является телефонная связь. Чтобы поговорить с кем-нибудь, необходимо поднять трубку, набрать номер, а после окончания разговора положить трубку. Нечто подобное происходит и в компьютерных сетях: при использовании сервиса с установлением соединения абонент сначала устанавливает соединение, а после окончания сеанса разрывает его. Это напоминает трубу: биты сообщения влетают в один ее конец, а вылетают с другого. В большинстве случаев не возникает путаницы с последовательностью передачи этих битов.

В некоторых случаях перед началом передачи отправляющая и получающая машины обмениваются приветствиями, отсылая друг другу приемлемые параметры соединения: максимальный размер сообщения, необходимое качество сервиса и др. В большинстве случаев одна из сторон посылает запрос, а другая его принимает, отвергает или же выставляет встречные условия. Линия — другое название соединения со связанными ресурсами, такими как фиксированная пропускная способность. Это название происходит из истории телефонной сети, в которой линия была путем по медному проводу, который переносил телефонный разговор.

Противоположный пример — сервисы без установления соединения, типичный пример такой технологии — почтовые системы. Каждое письмо содержит

полный адрес назначения и проходит по некому маршруту, который совершенно не зависит от других писем. Есть различные названия для сообщений в различных контекстах; пакет — сообщение на сетевом уровне. Когда промежуточные узлы получают сообщение полностью перед пересылкой его к следующему узлу, это называют коммутацией с промежуточной буферизацией. Другой вариант, когда передача сообщения начинается прежде, чем оно будет полностью получено узлом, называют сквозной передачей. Обычно то письмо, которое отправлено раньше, в место назначения приходит раньше. Тем не менее возможна ситуация, что первое письмо задерживается и раньше приходит то, которое было послано вторым.

Каждая служба характеризуется качеством обслуживания. Некоторые службы являются надежными, в том смысле, что они никогда не теряют данные. Обычно надежная служба реализуется при помощи подтверждений, посылаемых получателем в ответ на каждое принятое сообщение, так что отправитель знает, дошло очередное сообщение или нет. Процесс пересылки подтверждений требует некоторых накладных расходов и снижает пропускную способность канала. Впрочем, подобные затраты обычно не очень велики и окупаются, хотя иногда могут быть нежелательными.

#### **Тема 1.4. Эталонная модель OSI**

Эталонная модель OSI (за исключением физической среды) показана на рис. 1.6. Эта модель основана на разработке Международной организации по стандартизации (International Organization for Standardization, ISO) и является первым шагом к международной стандартизации протоколов, используемых на различных уровнях. Называется эта структура эталонной моделью взаимодействия открытых систем ISO (ISO OSI (Open System Interconnection) Reference Model), поскольку она связывает открытые системы, то есть системы, открытые для связи с другими системами.

Модель OSI имеет семь уровней. Появление именно такой структуры было обусловлено следующими соображениями.

1. Уровень должен создаваться по мере необходимости отдельного уровня абстракции.

2. Каждый уровень должен выполнять строго определенную функцию.
3. Выбор функций для каждого уровня должен осуществляться с учетом создания стандартизированных международных протоколов.
4. Границы между уровнями должны выбираться так, чтобы поток данных между интерфейсами был минимальным.
5. Количество уровней должно быть достаточно большим, чтобы различные функции не объединялись в одном уровне без необходимости, но не слишком высоким, чтобы архитектура не становилась громоздкой.

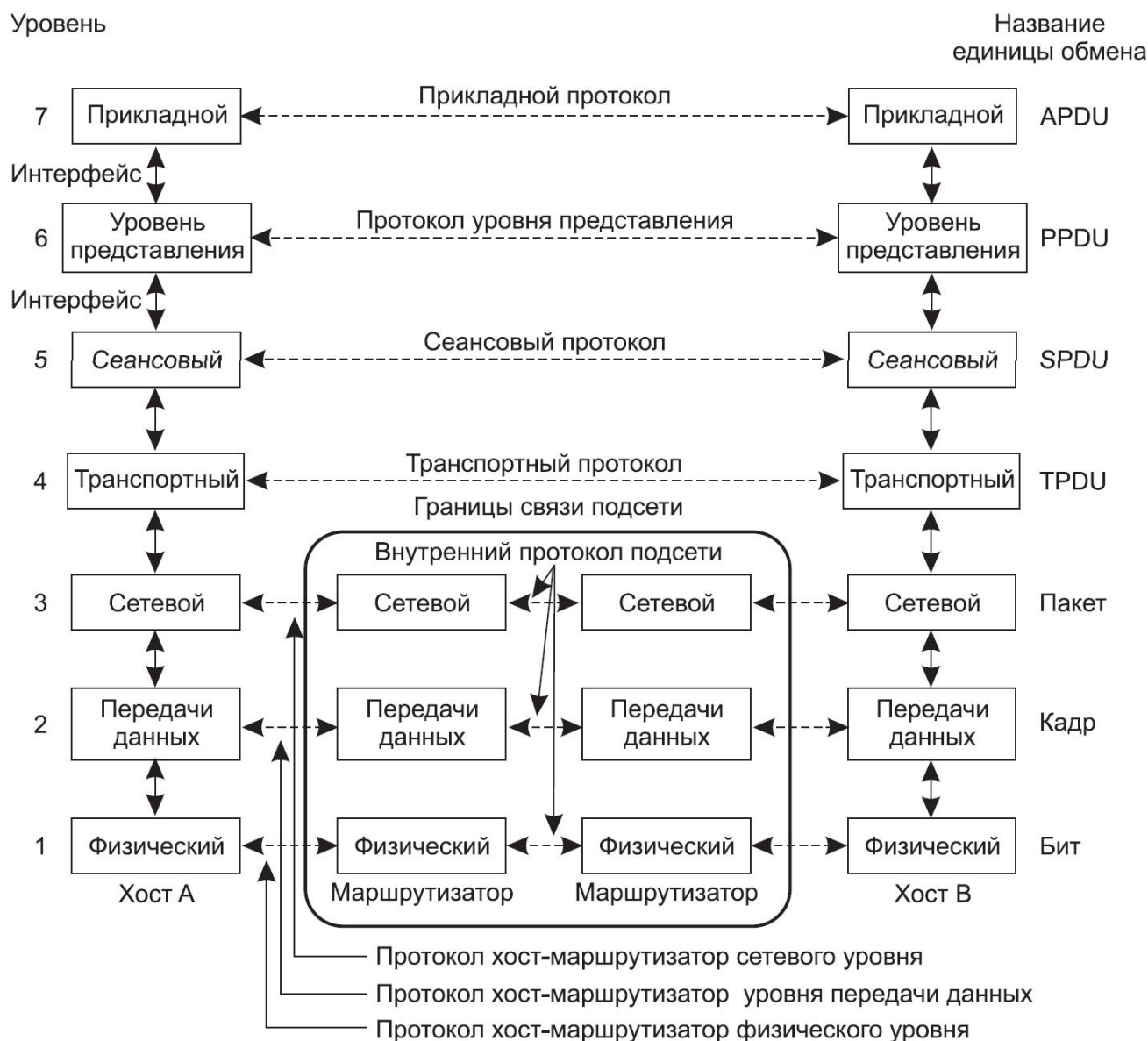


Рисунок 1.6 — Эталонная модель OSI

Физический уровень занимается реальной передачей необработанных битов по каналу связи. При разработке сети необходимо убедиться, что когда одна сторона передает единицу, то принимающая сторона получает также единицу, а не ноль.

Принципиальными вопросами здесь являются следующие: какое напряжение должно использоваться для отображения единицы, а какое для нуля; сколько микросекунд длится бит; может ли передача производиться одновременно в двух направлениях; как устанавливается начальная связь и как она прекращается, когда обе стороны закончили свои задачи; из какого количества проводов должен состоять кабель и какова функция каждого провода. Вопросы разработки в основном связаны с механическими, электрическими и процедурными интерфейсами, а также с физическим носителем, лежащим ниже физического уровня.

Основная задача уровня передачи данных — быть способным передавать «сырые» данные физического уровня по надежной линии связи, свободной от необнаруженных ошибок, и маскировать реальные ошибки, так что сетевой уровень их не видит. Эта задача выполняется при помощи разбиения входных данных на кадры, обычный размер которых колеблется от нескольких сот до нескольких тысяч байт. Кадры данных передаются последовательно с обработкой кадров подтверждения, отсылаемых обратно получателем.

Еще одна проблема, возникающая на уровне передачи данных (а также и на большей части более высоких уровней), — как не допустить ситуации, когда быстрый передатчик заваливает приемник данными. Может быть предусмотрен некий механизм регуляции, который информировал бы передатчик о наличии свободного места в буфере приемника на текущий момент.

В широковещательных сетях существует еще одна проблема уровня передачи данных: как управлять доступом к совместно используемому каналу. Эта проблема разрешается введением специального дополнительного подуровня уровня передачи данных — подуровня доступа к носителю.

Сетевой уровень занимается управлением операциями подсети. Важнейшим моментом здесь является определение маршрутов пересылки пакетов от источника к пункту назначения. Маршруты могут быть жестко заданы в виде таблиц и редко меняться либо, что бывает чаще, автоматически изменяться, чтобы избегать отказавших компонентов. Кроме того, они могут задаваться в начале каждого соединения, например, терминальной сессии, такого как подключения к удаленной ма-

шине. Наконец, они могут быть в высокой степени динамическими, то есть вычисляемыми заново для каждого пакета с учетом текущей загруженности сети.

Если в подсети одновременно присутствует слишком большое количество пакетов, то они могут закрыть дорогу друг другу, образуя заторы в узких местах. Недопущение подобной закупорки также является задачей сетевого уровня в соединении с более высокими уровнями, которые адаптируют загрузку. В более общем смысле, сетевой уровень занимается предоставлением определенного уровня сервиса (это касается задержек, времени передачи, вопросов синхронизации).

При путешествии пакета из одной сети в другую также может возникнуть ряд проблем. Так, способ адресации, применяемый в одной сети, может отличаться от принятого в другой. Сеть может вообще отказаться принимать пакеты из-за того, что они слишком большого размера. Также могут различаться протоколы и т. д. Именно сетевой уровень должен разрешать все эти проблемы, позволяя объединять разнородные сети.

В ширококвещательных сетях проблема маршрутизации очень проста, поэтому в них сетевой уровень очень примитивный или вообще отсутствует.

Основная функция транспортного уровня — принять данные от сеансового уровня, разбить их при необходимости на небольшие части, передать их сетевому уровню и гарантировать, что эти части в правильном виде придут по назначению. Кроме того, все это должно быть сделано эффективно и таким образом, чтобы изолировать более высокие уровни от каких-либо изменений в аппаратной технологии с течением времени.

Транспортный уровень также определяет тип сервиса, предоставляемого сеансовому уровню и, в конечном счете, пользователям сети. Наиболее популярной разновидностью транспортного соединения является защищенный от ошибок канал между двумя узлами, поставляющий сообщения или байты в том порядке, в каком они были отправлены. Однако транспортный уровень может предоставлять и другие типы сервисов, например, пересылку отдельных сообщений без гарантии соблюдения порядка их доставки или одновременную отправку сообщения различным адресатам по принципу широковещания. Тип сервиса определяется при установке соединения.



Транспортный уровень является настоящим сквозным уровнем, то есть доставляющим сообщения от источника адресату. Другими словами, программа на машине-источнике поддерживает связь с подобной программой на другой машине при помощи заголовков сообщений и управляющих сообщений. На более низких уровнях для поддержки этого соединения устанавливаются соединения между всеми соседними машинами, через которые проходит маршрут сообщений.

Сеансовый уровень позволяет пользователям различных компьютеров устанавливать сеансы связи друг с другом. При этом предоставляются различные типы сервисов, среди которых управление диалогом (отслеживание очередности передачи данных), управление маркерами (предотвращение одновременного выполнения критичной операции несколькими системами) и синхронизация (установка служебных меток внутри длинных сообщений, позволяющих продолжить передачу с того места, на котором она оборвалась, даже после сбоя и восстановления).

В отличие от более низких уровней, задача которых — достоверная передача битов и байтов, уровень представления занимается по большей части синтаксисом и семантикой передаваемой информации. Чтобы было возможно общение компьютеров с различными внутренними представлениями данных, необходимо преобразовывать форматы данных друг в друга, передавая их по сети в стандартизированном виде. Уровень представления занимается этими преобразованиями, предоставляя возможность определения и изменения структур данных более высокого уровня (например, записей баз данных).

Прикладной уровень содержит набор популярных протоколов, необходимых пользователям. Одним из наиболее распространенных является протокол передачи гипертекста HTTP (HyperText Transfer Protocol), который составляет основу технологии Всемирной паутины. Когда браузер запрашивает веб-страницу, он передает ее имя (адрес) и рассчитывает на то, что сервер, на котором расположена страница, будет использовать HTTP. Сервер в ответ отправляет страницу. Другие прикладные протоколы используются для передачи файлов, электронной почты, сетевых рассылок.

## Тема 1.5. Эталонная модель TCP/IP

Рассмотрим эталонную модель, использовавшуюся в компьютерной сети ARPANET, которая является бабушкой нынешних сетей, а также в ее наследнице, всемирной сети Интернет. ARPANET была исследовательской сетью, финансируемой Министерством обороны США. В конце концов, она объединила сотни университетов и правительственных зданий при помощи выделенных телефонных линий. Когда впоследствии появились спутниковые сети и радиосети, возникли большие проблемы при объединении с ними других сетей с помощью имеющихся протоколов. Понадобилась новая эталонная архитектура. Таким образом, возможность объединять различные сети в единое целое являлась одной из главных целей с самого начала. Позднее эта архитектура получила название эталонной модели TCP/IP, в соответствии со своими двумя основными протоколами.

Поскольку Министерство обороны США беспокоилось, что ценные хосты, маршрутизаторы и межсетевые шлюзы могут быть мгновенно уничтожены, другая важная задача состояла в том, чтобы добиться способности сети сохранять работоспособность при возможных потерях подсетевого оборудования, так чтобы при этом связь не прерывалась. Другими словами, Министерство обороны США требовало, чтобы соединение не прерывалось, пока функционируют приемная и передающая машины, даже если некоторые промежуточные машины или линии связи внезапно вышли из строя. Кроме того, от архитектуры нужна была определенная гибкость, поскольку предполагалось использовать приложения с различными требованиями, от переноса файлов до передачи речи в реальном времени.

Все эти требования привели к выбору сети с пакетной коммутацией, основанной на уровне без установления соединения, который работает в различных сетях. Самый низкий уровень в модели, уровень канала, описывает то, как и что каналы, такие как последовательные линии и классический Ethernet, должны сделать, чтобы удовлетворить потребности этого межсетевого уровня без установления соединения. Это на самом деле не уровень вообще, в нормальном смысле слова, а скорее интерфейс между каналами передачи и узлами.

Все эти требования обусловили выбор модели сети с коммутацией пакетов, в основе которой лежал не имеющий соединений межсетевой уровень. Он показан на

рис. 1.7 и примерно соответствует сетевому уровню в OSI. Этот уровень, называемый интернет-уровнем или межсетевым уровнем, является основой всей архитектуры. Его задача заключается в обеспечении возможности каждого хоста посылать пакеты в любую сеть и независимо двигаться к пункту назначения (например, в другой сети). Они могут прибывать совершенно в другом порядке, чем были отправлены. Если требуется соблюдение порядка отправления, эту задачу выполняют более верхние уровни.

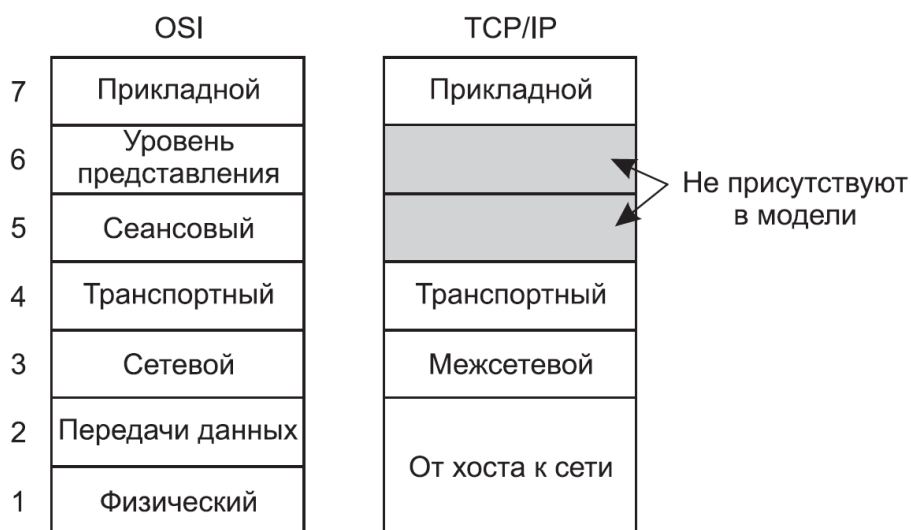


Рисунок 1.7 — Эталонная модель TCP/IP

Здесь можно увидеть аналогию с почтовой системой. Человек может бросить несколько международных писем в почтовый ящик в одной стране, и, если повезет, большая часть из них будет доставлена по правильным адресам в других странах. Вероятно, письма по дороге пройдут через несколько международных почтовых шлюзов, однако это останется тайной для корреспондентов. В каждой стране (то есть в каждой сети) могут быть свои марки, свои предпочитаемые размеры конвертов и правила доставки, незаметные для пользователей почтовой службы.

Межсетевой уровень определяет официальный формат пакета и протокол IP, с дополнительным протоколом ICMP (Internet Control Message Protocol, межсетевой протокол управления сообщениями). Задачей межсетевого протокола является доставка IP-пакетов к пунктам назначения. Основными аспектами здесь являются выбор маршрута пакета и недопущение закупорки транспортных артерий (хотя IP не оказался эффективным для избегания скоплений).

Уровень, расположенный над межсетевым уровнем модели TCP/IP, как правило, называют транспортным. Он создан для того, чтобы объекты одного ранга на приемных и передающих хостах могли поддерживать связь, подобно транспортному уровню модели OSI. На этом уровне должны быть описаны два сквозных протокола. Первый, TCP (Transmission Control Protocol — протокол управления передачей), является надежным протоколом с установлением соединений, позволяющим без ошибок доставлять байтовый поток с одной машины на любую другую машину объединенной сети. Он разбивает входной поток байтов на отдельные сообщения и передает их межсетевому уровню. На пункте назначения получающий TCP-процесс собирает из полученных сообщений выходной поток. Кроме того, TCP осуществляет управление потоком, чтобы быстрый отправитель не завалил информацией медленного получателя.

Второй протокол этого уровня, UDP (User Datagram Protocol — протокол пользовательских дейтограмм), является ненадежным протоколом без установления соединения, не использующим последовательное управление потоком протокола TCP, а предоставляющим свое собственное. Он также широко используется в одноразовых клиент-серверных запросах и приложениях, в которых оперативность важнее аккуратности, например, при передаче речи и видео. Взаимоотношения протоколов IP, TCP и UDP показаны на рис. 1.8. Со времени создания протокола IP этот протокол был реализован во многих других сетях.

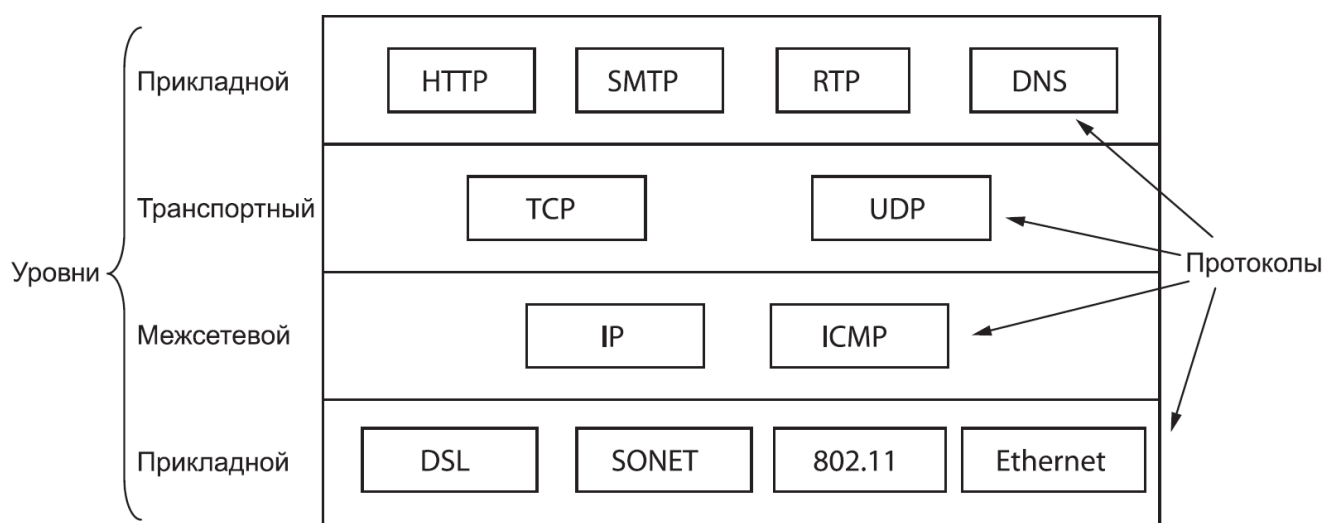


Рисунок 1.8 — Протоколы и сети в модели TCP/IP

В модели TCP/IP нет сеансового уровня и уровня представления. В этих уровнях просто не было необходимости, поэтому они не были включены в модель. Вместо этого приложения просто включают все функции сеансов и представления, которые им нужны. Опыт работы с моделью OSI доказал правоту этой точки зрения: большинство приложений мало нуждаются в этих уровнях.

Над транспортным уровнем располагается прикладной уровень. Он содержит все протоколы высокого уровня. К старым протоколам относятся протокол виртуального терминала (TELNET), протокол переноса файлов (FTP) и протокол электронной почты (SMTP). С годами было добавлено много других протоколов. Это DNS (Domain Name Service — служба имен доменов), позволяющая преобразовывать имена хостов в сетевые, HTTP, протокол, используемый для создания страниц на World Wide Web, а также RTP, протокол для представления мультимедиа в реальном времени, таких как звук или фильмы.

## **Раздел 2. Телекоммуникационные сети с коммутацией каналов и пакетов**

### **Тема 2.1. Коммутация каналов**

Исторически коммутация каналов появилась намного раньше коммутации пакетов и ведет свое происхождение от первых телефонных сетей. Невозможность динамического перераспределения пропускной способности физического канала является принципиальным ограничением сети с коммутацией каналов.

Принцип коммутации пакетов был предложен разработчиками компьютерных сетей. При коммутации пакетов учитываются особенности компьютерного трафика, поэтому данный способ коммутации является более эффективным для компьютерных сетей по сравнению с традиционным методом коммутации каналов, применяющимся в телефонных сетях. Однако достоинства и недостатки любой сетевой технологии относительны. Наличие буферной памяти в коммутаторах сетей с коммутацией пакетов позволяет эффективно использовать пропускную способность каналов при передаче пульсирующего трафика, но приводит к случайным задержкам в доставке пакетов, что для трафика реального времени является серьезным недостатком.

Одной из особенностей сетей с коммутацией каналов является понятие элементарного канала. Элементарный канал (или просто канал) — это базовая техническая характеристика сети с коммутацией каналов, представляющая собой некоторое фиксированное в пределах данного типа сетей значение пропускной способности. Любая линия связи в сети с коммутацией каналов имеет пропускную способность, кратную элементарному каналу, принятому для данного типа сети.

Линии связи в сетях с коммутацией пакетов (как, впрочем, и в остальных типах компьютерных сетей) имеют разную пропускную способность, одни — большую, другие — меньшую. Выбирая линии связи с разными скоростными качествами, специалисты, проектирующие сеть, стараются учесть разную интенсивность информационных потоков, которые могут возникнуть в разных фрагментах сети — чем ближе к центру сети, тем выше пропускная способность линии связи, так как магистральные линии агрегируют трафик большого количества периферийных линий связи.

Особенностью сетей с коммутацией каналов является то, что пропускная способность каждой линии связи должна быть равна целому числу элементарных каналов.

Так, линии связи, подключающие абонентов к телефонной сети, могут содержать 2, 24 или 30 элементарных каналов, а линии, соединяющие коммутаторы, — 480 или 1920 каналов.

Канал, построенный путем коммутации (соединения) элементарных каналов, называют составным каналом.

Подчеркнем следующие свойства составного канала:

- составной канал на всем своем протяжении состоит из одинакового количества элементарных каналов;
- составной канал имеет постоянную и фиксированную пропускную способность на всем своем протяжении;
- составной канал создается временно на период сеанса связи двух абонентов;

- на время сеанса связи все элементарные каналы, входящие в составной канал, поступают в исключительное пользование абонентов, для которых был создан этот составной канал;
- в течение всего сеанса связи абоненты могут посылать в сеть данные со скоростью, не превышающей пропускную способность составного канала;
- данные, поступившие в составной канал, гарантированно доставляются вызываемому абоненту без задержек, потерь и с той же скоростью (скоростью источника) вне зависимости от того, существуют ли в это время в сети другие соединения или нет;
- после окончания сеанса связи элементарные каналы, входившие в соответствующий составной канал, объявляются свободными и возвращаются в пул распределяемых ресурсов для использования другими абонентами.

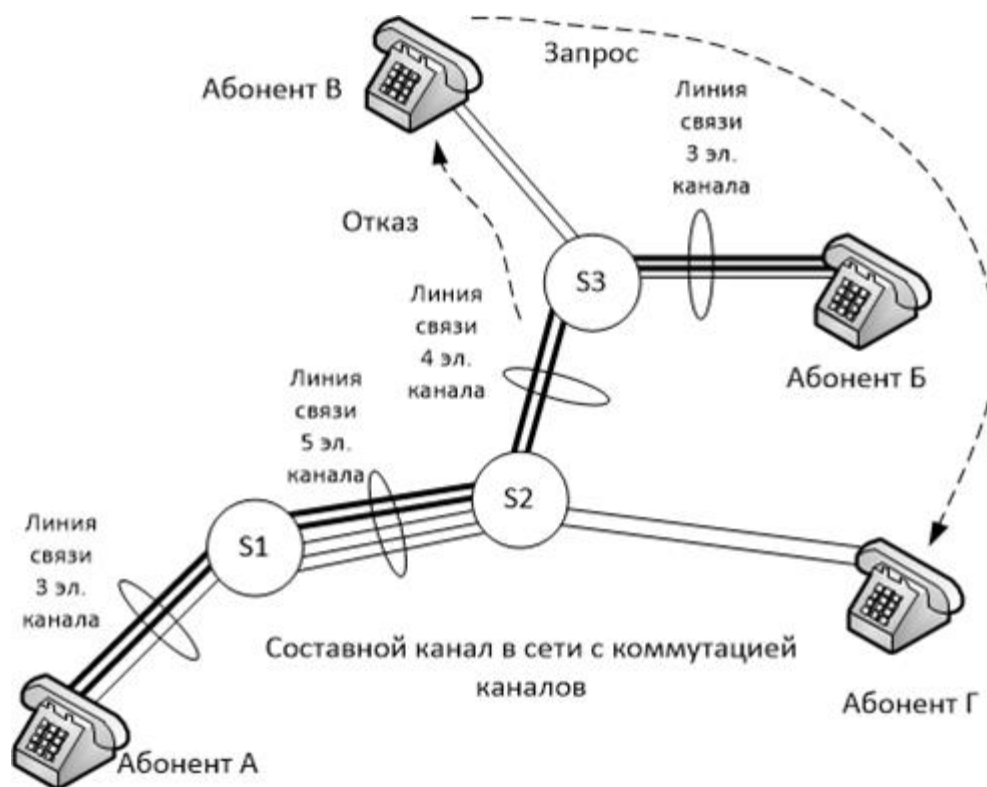


Рисунок 2.1 — Составной канал в сети с коммутацией каналов

В сети может одновременно происходить несколько сеансов связи (обычная ситуация для телефонной сети, в которой одновременно передаются разговоры сотен и тысяч абонентов). Разделение сети между сеансами связи происходит на уровне элементарных каналов. Например, мы можем предположить, что после того, как в линии связи S1-S2 было выделено два канала для связи абонентов А и Б,

оставшиеся три элементарных канала были распределены между двумя другими сеансами связи, проходившими в это же время и через эту же линию связи. Такое мультиплексирование позволяет одновременно передавать через каждый физический канал трафик нескольких логических соединений.

Мультиплексирование означает, что абоненты вынуждены конкурировать за ресурсы, в данном случае за элементарные каналы. Возможны ситуации, когда некоторая промежуточная линия связи уже исчерпала свободные элементарные каналы, тогда новый сеанс связи, маршрут которого пролегает через данную линию связи, не может состояться.

Для того чтобы распознать такие ситуации, обмен данными в сети с коммутацией каналов предваряется процедурой установления соединения. В соответствии с этой процедурой абонент, являющийся инициатором сеанса связи (например, абонент А в нашей сети), посылает в коммутационную сеть запрос, представляющий собой сообщение, в котором содержится адрес вызываемого абонента, например, абонента Б.

Цель запроса — проверить, можно ли образовать составной канал между вызывающим и вызываемым абонентами. А для этого требуется соблюдение двух условий: наличие требуемого числа свободных элементарных каналов в каждой линии связи, лежащей на пути от А к Б, и незанятость вызываемого абонента в другом соединении.

Запрос перемещается по маршруту, определенному для информационного потока данной пары абонентов. При этом используются глобальные таблицы коммутации, ставящие в соответствие глобальному признаку потока (адресу вызываемого абонента) идентификатор выходного интерфейса коммутатора.

Если в результате прохождения запроса от абонента А к абоненту Б выяснилось, что ничто не препятствует установлению соединения, происходит фиксация составного канала. Для этого во всех коммутаторах вдоль пути от А до Б создаются записи в локальных таблицах коммутации, в которых указывается соответствие между локальными признаками потока — номерами элементарных каналов, зарезервированных для этого сеанса связи. Только после этого составной канал считается установленным, и абоненты А и Б могут начать свой сеанс связи.



Таким образом, продвижение данных в сетях с коммутацией каналов происходит в два этапа.

1. В сеть поступает служебное сообщение — запрос, который несет адрес вызываемого абонента и инициирует создание составного канала.

2. По подготовленному составному каналу передается основной поток данных, для передачи которого уже не требуется никакой вспомогательной информации, в том числе адреса вызываемого абонента. Коммутация данных в коммутаторах выполняется на основе локальных признаков — номеров элементарных каналов.

Запросы на установление соединения не всегда завершаются успешно. Если на пути между вызывающим и вызываемым абонентами отсутствуют свободные элементарные каналы или вызываемый узел занят, то происходит отказ в установлении соединения.

## **Тема 2.2. Коммутация пакетов**

Сети с коммутацией пакетов, так же, как и сети с коммутацией каналов, состоят из коммутаторов, связанных физическими линиями связи. Однако передача данных в этих сетях происходит совершенно по-другому. Образно говоря, по сравнению с сетью с коммутацией каналов сеть с коммутацией пакетов ведет себя менее «ответственно». Например, она может принять данные для передачи, не заботясь о резервировании линий связи на пути следования этих данных и не гарантируя требуемую пропускную способность. Сеть с коммутацией пакетов не создает заранее для своих абонентов отдельных каналов связи, выделенных исключительно для них. Данные могут задерживаться и даже теряться по пути следования.

Важнейшим принципом функционирования сетей с коммутацией пакетов является представление информации, передаваемой по сети, в виде структурно отделенных друг от друга порций данных, называемых пакетами.

Каждый пакет снабжен заголовком, в котором содержатся адрес назначения и другая вспомогательная информация (длина поля данных, контрольная сумма и др.), используемая для доставки пакета адресату. Наличие адреса в каждом пакете является одной из важнейших особенностей техники коммутации пакетов, так как

каждый пакет может быть обработан коммутатором независимо от других пакетов, составляющих сетевой трафик. Помимо заголовка у пакета может иметься еще одно дополнительное поле, размещаемое в конце пакета и поэтому называемое концевиком. В концевике обычно помещается контрольная сумма, которая позволяет проверить, была ли искажена информация при передаче через сеть или нет.

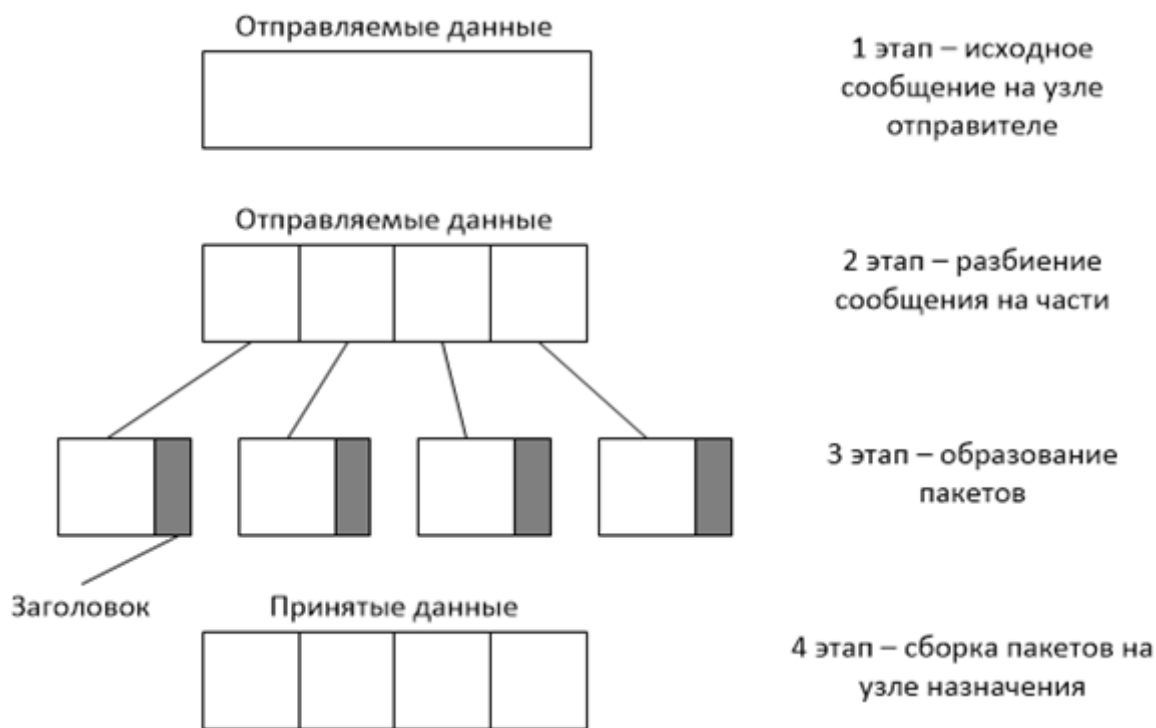


Рисунок 2.2 — Разбиение данных на пакеты

В зависимости от конкретной реализации технологии коммутации пакетов пакеты могут иметь фиксированную или переменную длину, кроме того, может меняться состав информации, размещенной в заголовках пакетов. Например, в технологии АТМ пакеты (называемые там ячейками) имеют фиксированную длину, а в технологии Ethernet установлены лишь минимально и максимально возможные размеры пакетов (кадров).

Пакеты поступают в сеть без предварительного резервирования линий связи и не с фиксированной заранее заданной скоростью, как это делается в сетях с коммутацией каналов, а в том темпе, в котором их генерирует источник. Предполагается, что сеть с коммутацией пакетов в отличие от сети с коммутацией каналов всегда готова принять пакет от конечного узла.

Как и в сетях с коммутацией каналов, в сетях с коммутацией пакетов для каждого из потоков вручную или автоматически определяется маршрут, фиксиру-

емый в хранящихся на коммутаторах таблицах коммутации. Пакеты, попадая на коммутатор, обрабатываются и направляются по тому или иному маршруту на основании информации, содержащейся в их заголовках, а также в таблице коммутации.

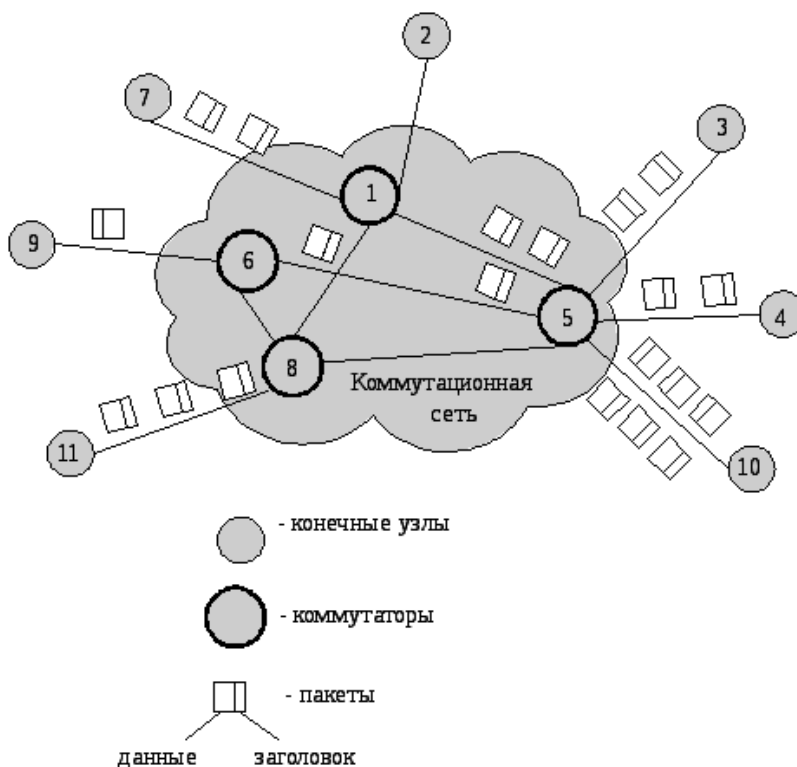


Рисунок 2.3 — Передача данных по сети в виде пакетов

Пакеты, принадлежащие как одному и тому же, так и разным информационным потокам, при перемещении по сети могут «перемешиваться» между собой, образовывать очереди и «тормозить» друг друга. На пути пакетов могут встречаться линии связи, имеющие разную пропускную способность. В зависимости от времени суток может сильно меняться и степень загруженности линий связи. В таких условиях не исключены ситуации, когда пакеты, принадлежащие одному и тому же потоку, могут перемещаться по сети с разными скоростями и даже прийти к месту назначения не в том порядке, в котором они были отправлены.

Разделение данных на пакеты позволяет передавать неравномерный компьютерный трафик более эффективно, чем в сетях с коммутацией каналов. Это объясняется тем, что пульсации трафика от отдельных компьютеров носят случайный характер и распределяются во времени так, что их пики чаще всего не совпадают. Поэтому, когда линия связи передает трафик большого количества конечных уз-

лов, в суммарном потоке пульсации сглаживаются и пропускная способность линии используется более рационально, без длительных простоев.

### Тема 2.3. Сравнение телекоммуникационных сетей с коммутацией пакетов и каналов

Рассмотрим более детально механизм возникновения задержек при передаче данных в телекоммуникационных сетях обоих типов. Пусть от конечного узла  $N_1$  отправляется сообщение к конечному узлу  $N_2$  (рис. 2.4). На пути передачи данных расположены два коммутатора.

В сети с коммутацией каналов данные после задержки, связанной с установлением канала, начинают передаваться на стандартной для канала скорости. Время доставки данных  $T$  адресату равно сумме времени распространения сигнала в канале  $t_{\text{prg}}$  и времени передачи сообщения в канал (называемом также временем сериализации)  $t_{\text{trns}}$ .

Наличие коммутаторов в сети с коммутацией каналов никак не влияет на суммарное время прохождения данных через сеть.

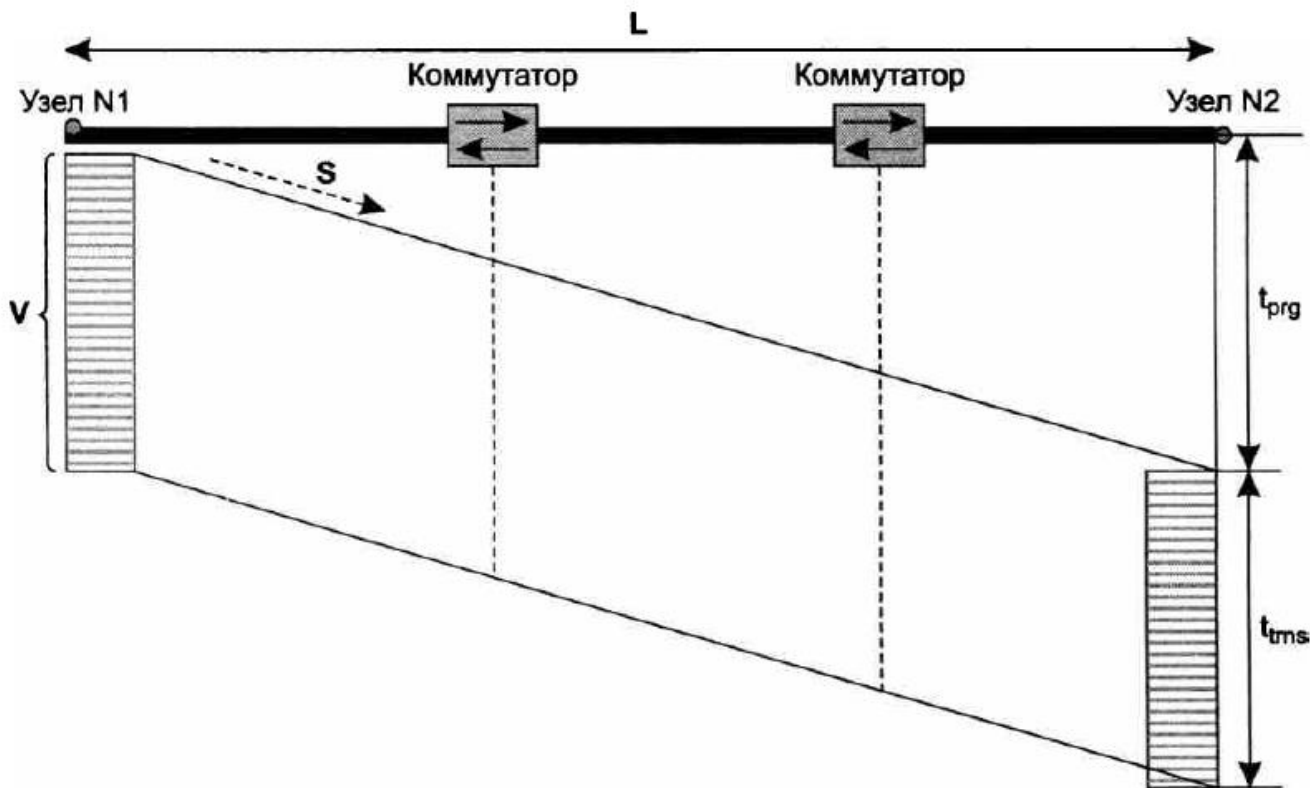


Рисунок 2.4 — Временная диаграмма передачи сообщения в сети с коммутацией каналов

Время распространения сигнала зависит от расстояния между абонентами  $L$  и скорости  $S$  распространения электромагнитных волн в конкретной физической среде, которая колеблется от 0,6 до 0,9 скорости света в вакууме:

$$t_{\text{prg}} = L/S.$$

Время передачи сообщения в канал (а значит, и время буферизации в узле назначения) равно отношению объема сообщения  $V$  в битах к пропускной способности канала  $C$  в битах в секунду:

$$t_{\text{trns}} = V/C.$$

В сети с коммутацией пакетов передача данных не требует обязательного установления соединения. Предположим, что в сеть, показанную на рис. 2.5, передается сообщение того же объема  $V$ , что и в предыдущем случае, однако оно разделено на пакеты, каждый из которых снабжен заголовком. Пакеты передаются от узла  $N_1$  узлу  $N_2$ , между которыми расположены два коммутатора. На каждом коммутаторе каждый пакет изображен дважды: в момент прихода на входной интерфейс и в момент передачи в сеть с выходного интерфейса. Из рисунка видно, что коммутатор задерживает пакет на некоторое время. Здесь  $T_1$  — время доставки адресату первого пакета сообщения, а  $t_{\text{ps}}$  — всего сообщения.

Сравнивая временные диаграммы передачи данных в сетях с коммутацией каналов и пакетов, отметим два факта:

- значения времени распространения сигнала ( $t_{\text{prg}}$ ) в одинаковой физической среде на одно и то же расстояние одинаковы;
- учитывая, что значения пропускной способности каналов в обеих сетях одинаковы, значения времени передачи сообщения в канал ( $t_{\text{trns}}$ ) будут также равны.

При сравнении сетей с коммутацией каналов и пакетов уместна аналогия с мультипрограммными операционными системами. Каждая отдельная программа в такой системе выполняется дольше, чем в однопрограммной системе, когда программе выделяется все процессорное время, пока она не завершит свое выполнение. Однако общее число программ, выполняемых в единицу времени, в мультипрограммной системе больше, чем в однопрограммной. Аналогично однопрограммной системе, в которой время от времени простаивают процессор или пери-

ферийные устройства, в сетях с коммутацией каналов при передаче пульсирующего трафика значительная часть зарезервированной пропускной способности каналов часто не используется.

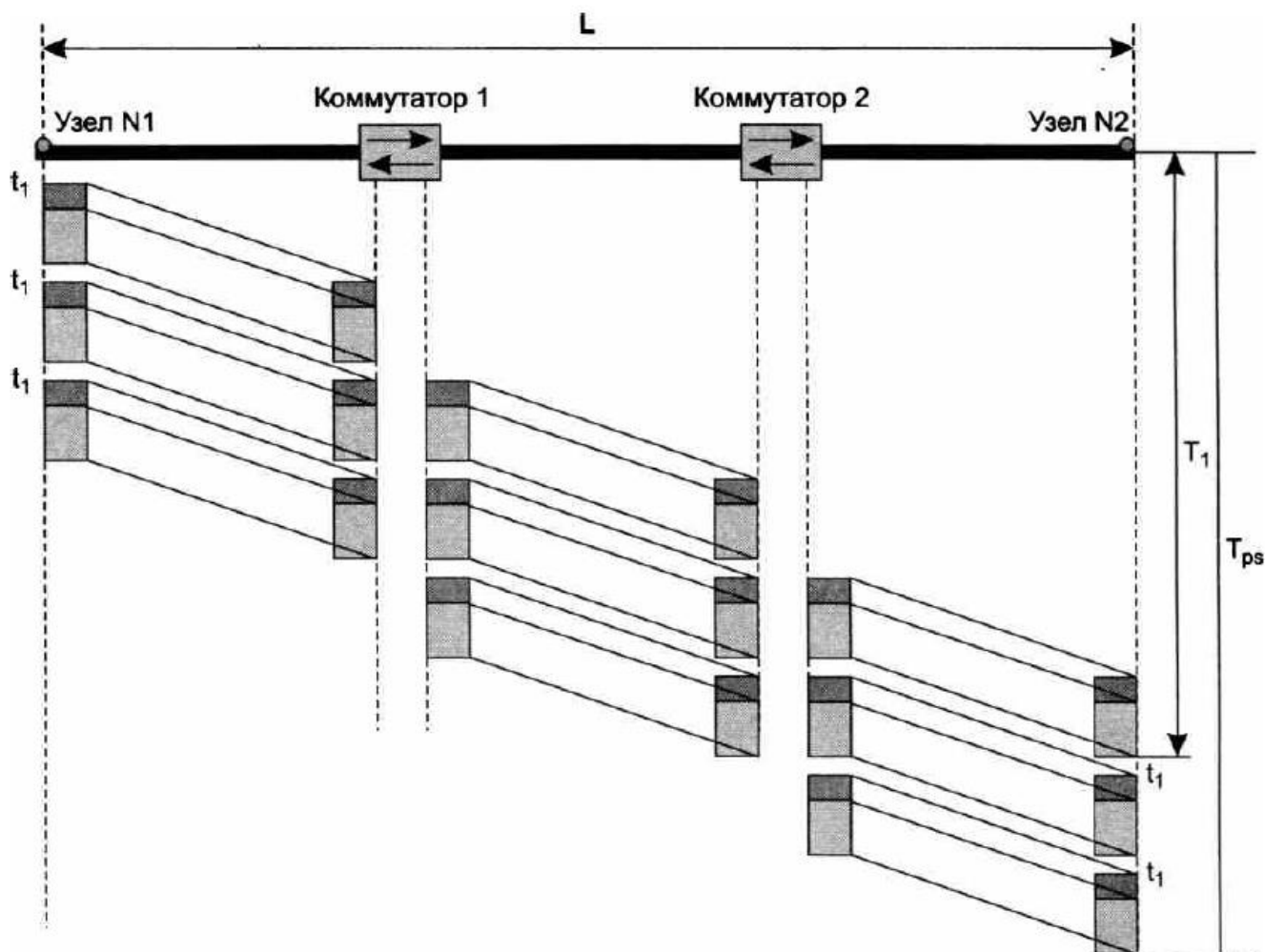


Рисунок 2.5 — Временная диаграмма передачи сообщения, разделенного на пакеты, в сети с коммутацией пакетов

Неопределенная пропускная способность сети с коммутацией пакетов — это плата за ее общую эффективность при некотором ущемлении интересов отдельных абонентов. Аналогично в мультипрограммной операционной системе время выполнения приложения предсказать заранее невозможно, так как оно зависит от количества других приложений, с которыми делит процессор данное приложение.

Таблица 2.1. Сравнение сетей с коммутацией каналов и пакетов

Коммутация каналов	Коммутация пакетов
Необходимо предварительно устанавливать соединение	Отсутствует этап установления соединения (дейтаграммный способ)
Адрес требуется только на этапе установления соединения	Адрес и другая служебная информация передаются с каждым пакетом
Сеть может отказать абоненту в установлении	Сеть всегда готова принять данные от абонента

соединения	
Гарантированная пропускная способность (полоса пропускания) для взаимодействующих абонентов	Пропускная способность сети для абонентов неизвестна, задержки передачи носят случайный характер
Трафик реального времени передается без задержек	Ресурсы сети используются эффективно при передаче пульсирующего трафика
Высокая надежность передачи	Возможны потери данных из-за переполнения буферов
Нерациональное использование пропускной способности каналов, снижающее общую эффективность сети	Автоматическое динамическое распределение пропускной способности физического канала между абонентами

### Список литературы

1. Виснадул Б.Д. Основы компьютерных сетей: Учебное пособие [Электронный ресурс] / Б.Д. Виснадул, С.А. Лупин, С.В. Сидоров.; Под ред. Л.Г.Гагариной. – М.: Форум: НИЦ ИНФРА-М, 2012. – 272 с.
2. Гагарина Л.Г. Введение в инфокоммуникационные технологии: Учебное пособие [Электронный ресурс] / Л.Г. Гагарина, А.М. Баин и др.; Под ред. д.т.н., проф. Л.Г.Гагариной. – М.: Форум: НИЦ ИНФРА-М, 2013. – 336 с.
3. Исаченко О.В. Программное обеспечение компьютерных сетей: Учебное пособие [Электронный ресурс] / О.В. Исаченко. – М.: НИЦ ИНФРА-М, 2014. – 117 с.
4. Кандаурова Н.В. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации. (Курс лекций и лабораторный практикум) [Электронный ресурс] / Н.В. Кандаурова, С.В. Яковлев, В.П. Яковлев, В.С. Чеканов. – М.: ФЛИНТА, 2013. – 344 с.
5. Кузин А.В. Компьютерные сети: Учебное пособие [Электронный ресурс] / А.В. Кузин. – М.: Форум: НИЦ ИНФРА-М, 2014. – 192 с.
6. Чекмарев Ю.В. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации [Электронный ресурс] / Ю.В. Чекмарев – М.: ДМК Пресс, 2009. – 184 с.
7. Чекмарев Ю.В. Локальные вычислительные сети [Электронный ресурс] / Ю.В. Чекмарев – М.: ДМК Пресс, 2010. – 200 с.