

## Лекция №6

### Технология Ethernet. Архитектура и особенности построения сети технологии Ethernet

#### План

1. Основные проблемы построения сетей.
2. Технология Ethernet.

#### **1. Основные проблемы построения больших сетей**

В сетях с небольшим (10-30) количеством компьютеров чаще всего используется одна из типовых топологий - общая шина, кольцо, звезда или полносвязная сеть. Все перечисленные топологии обладают свойством однородности, то есть все компьютеры в такой сети имеют одинаковые права в отношении доступа к другим компьютерам (за исключением центрального компьютера при соединении звезды). Такая однородность структуры делает простой процедуру наращивания числа компьютеров, облегчает обслуживание и эксплуатацию сети.

Однако при построении больших сетей однородная структура связей превращается из преимущества в недостаток. В таких сетях использование типовых структур порождает различные ограничения, важнейшими из которых являются:

- ограничения на длину связи между узлами;
- ограничения на количество узлов в сети;
- ограничения на интенсивность трафика, порождаемого узлами сети.

Например, технология Ethernet на тонком коаксиальном кабеле позволяет использовать кабель длиной не более 185 метров, к которому можно подключить не более 30 компьютеров. Однако, если компьютеры интенсивно обмениваются информацией между собой, иногда приходится снижать число подключенных к кабелю компьютеров до 20, а то и до 10, чтобы каждому компьютеру доставалась приемлемая доля общей пропускной способности сети.

Для снятия этих ограничений используются специальные методы структуризации сети и специальное структурообразую-

щее оборудование - повторители, концентраторы, мосты, коммутаторы, маршрутизаторы. Оборудование такого рода также называют коммуникационным, имея в виду, что с помощью него отдельные сегменты сети взаимодействуют между собой.

## **2. Технология Ethernet**

Рассмотрим, каким образом описанные выше общие подходы к решению наиболее важных проблем построения сетей воплощены в наиболее популярной сетевой технологии - *Ethernet*.

*Сетевая технология* - это согласованный набор стандартных протоколов и реализующих их программно-аппаратных средств (например, сетевых адаптеров, драйверов, кабелей и разъемов), достаточный для построения вычислительной сети. Эпитет «достаточный» подчеркивает то обстоятельство, что этот набор представляет собой минимальный набор средств, с помощью которых можно построить работоспособную сеть. Возможно, эту сеть можно улучшить, например, за счет выделения в ней подсетей, что сразу потребует кроме протоколов стандарта Ethernet применения протокола IP, а также специальных коммуникационных устройств - маршрутизаторов. Улучшенная сеть будет, скорее всего, более надежной и быстродействующей, но за счет надстроек над средствами технологии Ethernet, которая составила базис сети.

Термин «сетевая технология» чаще всего используется в описанном выше узком смысле, но иногда применяется и его расширенное толкование как любого набора средств и правил для построения сети, например, «технология сквозной маршрутизации», «технология создания защищенного канала», «технология IP-сетей».

Протоколы, на основе которых строится сеть определенной технологии (в узком смысле), специально разрабатывались для совместной работы, поэтому от разработчика сети не требуется дополнительных усилий по организации их взаимодействия. Иногда сетевые технологии называют *базовыми технологиями*, имея в виду то, что на их основе строится базис любой

сети. Примерами базовых сетевых технологий могут служить наряду с Ethernet такие известные технологии локальных сетей как, Token Ring и FDDI, или же технологии территориальных сетей X.25 и frame relay. Для получения работоспособной сети в этом случае достаточно приобрести программные и аппаратные средства, относящиеся к одной базовой технологии - сетевые адAPTERы с драйверами, концентраторы, коммутаторы, кабельную систему и т. п., - и соединить их в соответствии с требованиями стандарта на данную технологию.

Стандарт Ethernet был принят в 1980 году. Число сетей, построенных на основе этой технологии, к настоящему моменту оценивается в 5 миллионов, а количество компьютеров, работающих в таких сетях, - в 50 миллионов.

Основной принцип, положенный в основу Ethernet, - случайный метод доступа к разделяемой среде передачи данных. В качестве такой среды может использоваться толстый или тонкий коаксиальный кабель, витая пара, оптоволокно или радиоволны (кстати, первой сетью, построенной на принципе случайного доступа к разделяемой среде, была радиосеть Aloha Гавайского университета).

В стандарте Ethernet строго зафиксирована топология электрических связей. Компьютеры подключаются к разделяемой среде в соответствии с типовой структурой «общая шина» (рис. 6.1). С помощью разделяемой во времени шины любые два компьютера могут обмениваться данными. Управление доступом к линии связи осуществляется специальными контроллерами - сетевыми адAPTERами Ethernet. Каждый компьютер, а более точно, каждый сетевой адAPTER, имеет уникальный адрес.



Рис. 6.1. Сеть Ethernet

Передача данных происходит со скоростью 10 Мбит/с. Эта величина является пропускной способностью сети Ethernet.

Суть случайного метода доступа состоит в следующем. Компьютер в сети Ethernet может передавать данные по сети, только если сеть свободна, то есть если никакой другой компьютер в данный момент не занимается обменом. Поэтому важной частью технологии Ethernet является процедура определения доступности среды.

После того как компьютер убедился, что сеть свободна, он начинает передачу, при этом «захватывает» среду. Время монопольного использования разделяемой среды одним узлом ограничивается временем передачи одного кадра. *Кадр* - это единица данных, которыми обмениваются компьютеры в сети Ethernet. Кадр имеет фиксированный формат и наряду с полем данных содержит различную служебную информацию, например адрес получателя и адрес отправителя.

Сеть Ethernet устроена так, что при попадании кадра в разделяемую среду передачи данных все сетевые адаптеры одновременно начинают принимать этот кадр. Все они анализируют адрес назначения, располагающийся в одном из начальных полей кадра, и, если этот адрес совпадает с их собственным адресом, кадр помещается во внутренний буфер сетевого адаптера. Таким образом компьютер-адресат получает предназначенные ему данные.

Иногда может возникать ситуация, когда одновременно два или более компьютера решают, что сеть свободна, и начинают передавать информацию. Такая ситуация, называемая *коллизией*, препятствует правильной передаче данных по сети. В стандарте Ethernet предусмотрен алгоритм обнаружения и корректной обработки коллизий. Вероятность возникновения коллизии зависит от интенсивности сетевого трафика.

После обнаружения коллизии сетевые адаптеры, которые пытались передать свои кадры, прекращают передачу и после паузы случайной длительности пытаются снова получить доступ к среде и передать тот кадр, который вызвал коллизию.

Главным достоинством сетей Ethernet, благодаря которому они стали такими популярными, является их экономичность. Для построения сети достаточно иметь по одному сетевому адаптеру для каждого компьютера плюс один физический сегмент коаксиального кабеля нужной длины. Другие базовые технологии, например Token Ring, для создания даже небольшой сети требуют наличия дополнительного устройства - концентратора.

Кроме того, в сетях Ethernet реализованы достаточно простые алгоритмы доступа к среде, адресации и передачи данных. Простота логики работы сети ведет к упрощению и, соответственно, удешевлению сетевых адаптеров и их драйверов. По той же причине адаптеры сети Ethernet обладают высокой надежностью.

И наконец, еще одним замечательным свойством сетей Ethernet является их хорошая расширяемость, то есть легкость подключения новых узлов.

Другие базовые сетевые технологии - Token Ring, FDDI, 100VGAny-LAN, хотя и обладают многими индивидуальными чертами, в то же время имеют много общих свойств с Ethernet. В первую очередь - это применение регулярных фиксированных топологий (иерархическая звезда и кольцо), а также разделяемых сред передачи данных. Существенные отличия одной технологии от другой связаны с особенностями используемого метода доступа к разделяемой среде. Так, отличия технологии Ethernet от технологии Token Ring во многом определяются спецификой заложенных в них методов разделения среды - случайного алгоритма доступа в Ethernet и метода доступа путем Передачи маркера в Token Ring.

Таким образом, архитектура и особенности построения сети технологии Ethernet основываются на следующем:

- *Топология.* В стандарте Ethernet строго зафиксирована топология физических связей – общая шина.
- *Способ коммутации.* В технологии Ethernet используется дейтаграммная коммутация пакетов. Единицы данных, которыми обмениваются компьютеры в сети Ethernet, называются кадрами. Кадр имеет

фиксированный формат и наряду с полем данных содержит различную служебную информацию. А где же в односегментной сети Ethernet на разделяемой среде происходит коммутация? Где хотя бы один коммутатор, который, как мы сказали, является главным элементом любой сети с коммутацией пакетов? Или же Ethernet представляет собой особый вид коммутации? Оказывается, коммутатор в односегментной сети Ethernet существует, но его не так просто разглядеть, потому что его функции распределены по всей сети. «Коммутатор» Ethernet состоит из сетевых адаптеров и разделяемой среды. Сетевые адAPTERЫ представляют собой интерфейсы такого виртуального коммутатора, а разделяемая среда — коммутационный блок, который передает кадры между интерфейсами. Часть функций коммутационного блока выполняют и адаптеры, так как они решают, какой кадр адресован их компьютеру, а какой — нет.

- *Адресация.* Каждый компьютер, а точнее каждый сетевой адаптер, имеет уникальный аппаратный адрес (так называемый MAC-адрес, вы уже встречали этот акроним в главе 2). Адрес Ethernet является плоским числовым адресом, иерархия здесь не используется. Поддерживаются адреса для выборочной, широковещательной и групповой рассылки.
- *Разделение среды и мультиплексирование.* Конечные узлы для обмена данными используют единственную разделяемую среду, применяя метод случайного доступа. Информационные потоки, поступающие от конечных узлов сети Ethernet, мультиплексируются в единственном передающем канале в режиме разделения времени. То есть кадрам разных потоков поочередно предоставляется канал. Чтобы подчеркнуть не всегда очевидную разницу между понятиями мультиплексирования и разделения среды, рассмотрим ситуацию, когда из всех компьютеров сети Ethernet только один имеет потребность передавать данные, причем данные от нескольких приложений. В этом случае проблема разделения среды между сетевыми интерфейсами не возникает, в то время как задача передачи нескольких информационных потоков по общей линии связи (то есть мультиплексирование) остается.

- *Кодирование.* Адаптеры Ethernet работают с тактовой частотой 20 МГц, передавая в среду прямоугольные импульсы, соответствующие единицам и нулям данных компьютера. Когда начинается передача кадра, то все его биты передаются в сеть с постоянной скоростью 10 Мбит/с (каждый бит передается за два такта). Это скорость определяется пропускной способностью линии связи в сети Ethernet.
- *Надежность.* Для повышения надежности передачи данных Ethernet используется стандартный прием — подсчет контрольной суммы и передача ее в концевике кадра. Если принимающий адаптер путем повторного подсчета контрольной суммы обнаруживает ошибку в данных кадра, то такой кадр отбрасывается. Повторная передача кадра протоколом Ethernet не выполняется, эта задача должна решаться другими технологиями, например протоколом TCP в сетях TCP/IP.
- *Полудуплексный способ передачи.* Разделяемая среда Ethernet представляет собой полудуплексный канал передачи. Сетевой адаптер выполняет операции передачи данных и их приема попарно.
- *Очереди.* На первый взгляд может показаться, что в Ethernet на разделяемой среде нет очередей, свойственных сетям с коммутацией пакетов. Однако отсутствие коммутатора с буферной памятью в сети Ethernet не означает, что очереди в ней отсутствуют. Просто здесь очереди переместились в буферную память сетевого адаптера. В те периоды времени, когда среда занята передачей кадров других сетевых адаптеров, данные (предложенная нагрузка) по-прежнему поступают в сетевой адаптер. Так как они не могут быть переданы в это время в сеть, они начинают накапливаться во внутреннем буфере адаптера Ethernet, образуя очередь. Поэтому в сети Ethernet существуют переменные задержки доставки кадров, как и во всех сетях с коммутацией пакетов.

### **Методика расчет конфигурации сети Ethernet**

Соблюдение многочисленных ограничений, установленных для различных стандартов физического уровня сетей

Ethernet, гарантирует корректную работу сети (естественно, при исправном состоянии всех элементов физического уровня).

Наиболее часто приходится проверять ограничения, связанные с длиной отдельного сегмента кабеля, а также количеством повторителей и общей длиной сети. Правила «5-4-3» для коаксиальных сетей и «4-х хабов» для сетей на основе витой пары и оптоволокна не только дают гарантии работоспособности сети, но и оставляют большой «запас прочности» сети.

**Правило «5-4-3».** В сети Ethernet 10Base-5 разрешается использовать не более 4 повторителей и, соответственно, не более 5 сегментов кабеля. Причем, только 3 могут быть нагруженными, то есть такими, к которым подключаются конечные узлы.

Например, если посчитать время двойного оборота в сети, состоящей из 4-х повторителей 10Base-5 и 5-ти сегментов максимальной длины 500 м, то окажется, что оно составляет 537 битовых интервала. А так как время передачи кадра минимальной длины, состоящего вместе с преамбулой из 72 байт, равно 575 битовым интервалам, то видно, что разработчики стандарта Ethernet оставили 38 битовых интервалов в качестве запаса для надежности. Тем не менее, комитет IEEE 802.3 говорит, что и 4 дополнительных битовых интервала создают достаточный запас надежности.

**Правило «4-х хабов».** В сети Ethernet 10Base-T определено максимальное число концентраторов между любыми двумя станциями сети, а именно 4.

Комитет IEEE 802.3 приводит исходные данные о задержках, вносимых повторителями и различными средами передачи данных, для тех специалистов, которые хотят самостоятельно рассчитывать максимальное количество повторителей и максимальную общую длину сети, не довольствуясь теми значениями, которые приведены в правилах «5-4-3» и «4-х хабов».

Особенно такие расчеты полезны для сетей, состоящих из смешанных кабельных систем, например коаксиала и оптоволокна, на которые правила о количестве повторителей не рассчитаны. При этом максимальная длина каждого отдельного физического сегмента должна строго соответствовать стандарту, то есть 500 м для «толстого» коаксиала, 100 м для витой пары и т. д.

Чтобы сеть Ethernet, состоящая из сегментов различной физической природы, работала корректно, необходимо выполнение четырех основных условий:

- количество станций в сети не более 1024;
- максимальная длина каждого физического сегмента не более величины, определенной в соответствующем стандарте физического уровня;
- время двойного оборота сигнала (Path Delay Value, PDV) между двумя самыми удаленными друг от друга станциями сети не более 575 битовых интервала;
- сокращение межкадрового интервала IPG (Path Variability Value, PVV) при прохождении последовательности кадров через все повторители должно быть не больше, чем 49 битовых интервалов. Так как при отправке кадров конечные узлы обеспечивают начальное межкадровое расстояние в 96 битовых интервала, то после прохождения повторителя оно должно быть не меньше, чем  $96 - 49 = 47$  битовых интервала.

Соблюдение этих требований обеспечивает корректность работы сети даже в случаях, когда нарушаются простые правила конфигурирования, определяющие максимальное количество повторителей и общую длину сети в 2500 м.

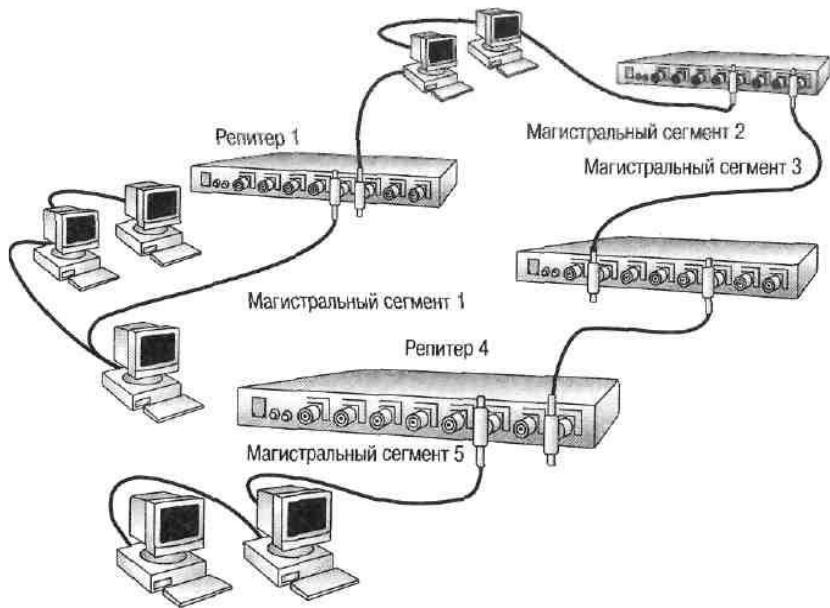
### **Расчет PDV**

Для упрощения расчетов обычно используются справочные данные IEEE, содержащие значения задержек распространения сигналов в повторителях, приемопередатчиках и различных физических средах. В табл. 1 приведены данные, необходимые для расчета значения PDV для всех физических стандартов сетей Ethernet. Битовый интервал обозначен как bt.

**Таблица 1.** Данные для расчета значения PDV

Тип сегмента	База левого сегмента, bt	База промежуточного сегмента, bt	База правого сегмента, bt	Задержка среды на 1 м, bt	Максимальная длина сегмента, м
10Base-5	11,8	46,5	169,5	0,0866	500
10Base-2	11,8	46,5	169,5	0,1026	185
10Base-T	15,3	42,0	165,0	0,113	100
10Base-FB	—	24,0	—	0,1	2000
10Base-FL	12,3	33,5	156,5	0,1	2000
FOIRL	7,8	29,0	152,0	0,1	1000
AUI (> 2 м)	0	0	0	0,1026	2+48

Комитет IEEE 802.3 старался максимально упростить выполнение расчетов, поэтому данные, приведенные в таблице, включают сразу несколько этапов прохождения сигнала. Например, задержки, вносимые повторителем, состоят из задержки входного трансивера, задержки блока повторения и задержки выходного трансивера. Тем не менее, в таблице все эти задержки представлены одной величиной, названной базой сегмента.

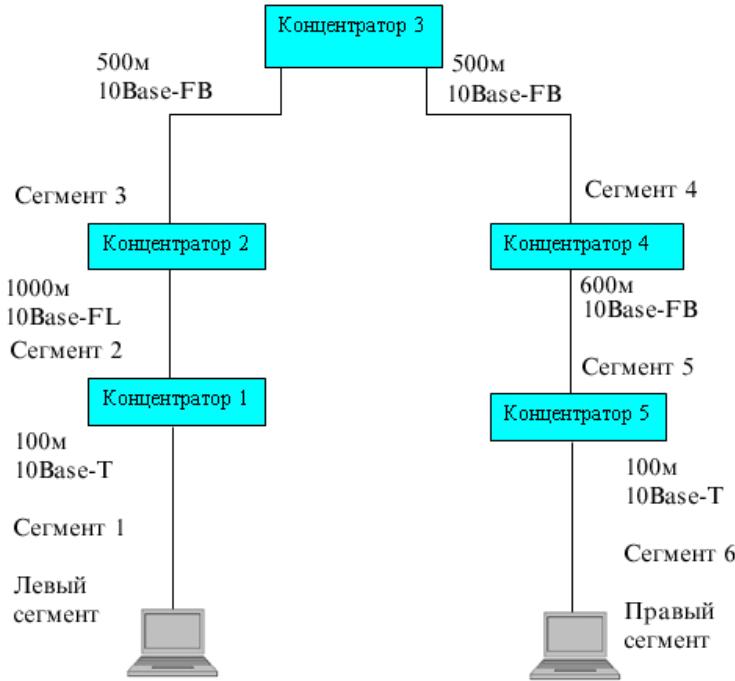


Чтобы не нужно было два раза складывать задержки, вносимые кабелем, в таблице даются удвоенные величины задержек для каждого типа кабеля.

Рис. 6.2. Правило 5-4-3: 5 сегментов, 4 репитера, 3 сегмента для подключения станций

В таблице используются также такие понятия, как левый сегмент, правый сегмент и промежуточный сегмент. Поясним эти термины на примере сети, приведенной на рис. 6.3. Левым сегментом называется сегмент, в котором начинается путь сигнала от выхода передатчика конечного узла. На примере это сегмент 1. Затем сигнал проходит через промежуточные сегменты 2-5 и доходит до приемника наиболее удаленного узла наибольшего удаленного сегмента б, который называется правым. Именно здесь в худшем случае происходит столкновение кадров и возникает коллизия, что и подразумевается в таблице.

С каждым сегментом связана постоянная задержка, названная базой, которая зависит только от типа сегмента и от положения сегмента на пути сигнала (левый, промежуточный или



правый). База правого сегмента, в котором возникает коллизия, намного превышает базу левого и промежуточных сегментов.

Рис. 6.3. Пример сети Ethernet, состоящей из сегментов различных физических стандартов

С каждым сегментом связана постоянная задержка, называемая базой, которая зависит только от типа сегмента и от положения сегмента на пути сигнала (левый, промежуточный или правый). База правого сегмента, в котором возникает коллизия, намного превышает базу левого и промежуточных сегментов.

Кроме этого, с каждым сегментом связана задержка распространения сигнала вдоль кабеля сегмента, которая зависит от длины сегмента и вычисляется путем умножения времени

распространения сигнала по одному метру кабеля (в битовых интервалах) на длину кабеля в метрах.

Расчет заключается в вычислении задержек, вносимых каждым отрезком кабеля (приведенная в таблице задержка сигнала на 1 м кабеля умножается на длину сегмента), а затем суммировании этих задержек с базами левого, промежуточных и правого сегментов. Общее значение PDV не должно превышать 575.

Так как левый и правый сегменты имеют различные величины базовой задержки,

то в случае различных типов сегментов на удаленных краях сети необходимо выполнить расчеты дважды: один раз принять в качестве левого сегмента сегмент одного типа, а во второй — сегмент другого типа. Результатом можно считать максимальное значение PDV. В нашем примере крайние сегменты сети при- надлежат к одному типу — стандарту 10Base-T, поэтому двойной расчет не требуется. Если бы эти сегменты были разного типа, то в первом случае нужно было бы принять в качестве левого сегмент между станцией и концентратором 1, а во втором считать левым сегмент между станцией и концентратором 5.

Приведенная на рисунке сеть в соответствии с правилом 4-х хабов не является корректной — в сети между узлами сегментов 1 и 6 имеется 5 хабов, хотя не все сегменты являются сегментами 10Base-FB. Кроме того, общая длина сети равна 2800 м, что нарушает правило 2500 м. Рассчитаем значение PDV для нашего примера.

Левый сегмент 1: 15,3 (база) +  $100 \times 0,113 = 26,6$ .

Промежуточный сегмент 2:  $33,5 + 1000 \times 0,1 = 133,5$ .

Промежуточный сегмент 3:  $24 + 500 \times 0,1 = 74,0$ .

Промежуточный сегмент 4:  $24 + 500 \times 0,1 = 74,0$ .

Промежуточный сегмент 5:  $24 + 600 \times 0,1 = 84,0$ .

Правый сегмент 6:  $165 + 100 \times 0,113 = 176,3$ .

Сумма всех составляющих дает значение PDV, равное 568,4.

Так как значение PDV меньше максимальной допустимой величины 575, то эта сеть проходит по критерию времени двойного оборота сигнала, несмотря на то, что ее общая длина составляет больше 2500 м, а количество повторителей — больше 4-х.

### Расчет PVV

Чтобы признать конфигурацию сети корректной, нужно рассчитать также уменьшение межкадрового интервала повторителями, то есть величину PVV.

Для расчета PVV также можно воспользоваться значениями максимальных величин уменьшения межкадрового интервала при прохождении повторителей различных физических сред, рекомендованными IEEE и приведенными в табл. 2.

**Таблица 2.** Сокращение межкадрового интервала повторителями

Тип сегмента	Передающий сегмент, bt	Промежуточный сегмент, bt
10Base-5 или 10Base-2	16	11
10Base-FB	—	2
10Base-FL	10,5	8
10Base-T	10,5	8

В соответствии с этими данными рассчитаем значение PVV для нашего примера.

Левый сегмент 1 10Base-T: сокращение в 10,5 bt.

Промежуточный сегмент 2 10Base-FL: 8.

Промежуточный сегмент 3 10Base-FB: 2.

Промежуточный сегмент 4 10Base-FB: 2.

Промежуточный сегмент 5 10Base-FB: 2.

Сумма этих величин дает значение PVV, равное 24,5, что меньше предельного значения в 49 битовых интервала.

В результате приведенная в примере сеть соответствует стандартам Ethernet по всем параметрам, связанным и с длинами сегментов, и с количеством повторителей.

**Список ключевых слов.** Однородность. Общая шина. Звезда. Кольцо. Сетевая технология. Технология Ethernet. Структурообразующее оборудование. Протокол IP. Базовые технологии. Стандарт Ethernet. Случайный метод доступа. Кадр. Дейтаграммная коммутация пакетов. MAC-адрес. Мультиплексирование. Кодирование. Надежность. Полудуплексный способ передачи. Очереди. Правило «5-4-3». Правило «4-х хабов». Время двойного оборота сигнала. Сокращение межкадрового интервала. Максимальная длина физического сегмента.

### Контрольные вопросы

1. Какие типовые технологии лежат в основе небольших компьютерных сетей?
2. Какие проблемы возникают при использовании типовых структур в больших сетях и как они решаются?
3. Какое оборудование относится к специальному структурообразующему коммуникационному оборудованию?
4. Что понимается под сетевой технологией?
5. Какие базовые технологии локальных сетей Вы знаете?
6. Какой основной принцип, положенный в основу Ethernet?
7. Какая единица данных используется в Ethernet?
8. Какая ситуация называется коллизией?
9. Какой способ коммутации используется в Ethernet?
10. Какие основные ограничения накладываются на сеть Ethernet?
11. Какое правило существует в сети Ethernet 10Base-5?
12. Какое правило существует в сети Ethernet 10Base-T?
13. Как производится расчет PDV?
14. Как производится расчет PVV?
15. Какой институт разработал рекомендации к расчету сети

Ethernet?

### **Литература**

1. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы. Технологии. Протоколы – СПб. 2006.
2. Microsoft Corporation. Компьютерные сети. Учебный курс / Пер. с англ. - М.: Издательский отдел «Русская Редакция» ТОО «Channel Trading Ltd.». – 1997.
3. Бройдо В.Л. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации – СПб. 2003.