



# Оглавление

<b>Предисловие от издательства .....</b>	<b>8</b>
<b>Предисловие .....</b>	<b>9</b>
<b>Глава 1. Введение.....</b>	<b>10</b>
1.1. Общение на расстоянии.....	10
1.2. Компьютеры общаются иначе .....	13
1.3. Ранние глобальные сети передачи данных с промежуточным хранением .....	14
1.4. Пакеты и маршрутизаторы.....	15
1.5. Пакеты и адресация .....	16
1.6. Вывод.....	17
1.7. Глоссарий.....	18
1.8. Контрольные вопросы.....	19
<b>Глава 2. Сетевая архитектура.....</b>	<b>22</b>
2.1. Канальный уровень .....	23
2.2. Сетевой уровень (IP).....	26
2.3. Транспортный уровень (TCP) .....	28
2.4. Прикладной уровень .....	29
2.5. Расположение слоев .....	30
2.6. Глоссарий .....	31
2.7. Контрольные вопросы .....	31
<b>Глава 3. Канальный уровень .....</b>	<b>34</b>
3.1. Беспроводная передача данных .....	35
3.2. Координация обмена данными .....	37
3.3. Координация в других технологиях канального уровня .....	38
3.4. Заключение .....	40
3.5. Глоссарий .....	40
3.6. Контрольные вопросы.....	40
<b>Глава 4. Сетевой уровень (IP).....</b>	<b>43</b>
4.1. IP-адреса (Internet Protocol) .....	45
4.2. Как маршрутизаторы определяют маршруты.....	46
4.3. Возможные проблемы и пути их решения .....	47
4.4. Определение маршрута .....	49
4.5. Получение IP-адреса .....	54
4.6. Другой вид повторного использования адресов.....	56
4.7. Назначение глобального IP-адреса .....	56
4.8. Заключение .....	57

4.9. Глоссарий .....	58
4.10. Контрольные вопросы.....	59
<b>Глава 5. Система доменных имен .....</b>	<b>64</b>
5.1. Распределение доменных имен .....	64
5.2. Чтение доменных имен .....	66
5.3. Заключение .....	66
5.4. Глоссарий .....	67
5.5. Контрольные вопросы.....	67
<b>Глава 6. Транспортный уровень .....</b>	<b>69</b>
6.1. Заголовки пакетов .....	70
6.2. Повторная сборка и повторная передача пакетов.....	70
6.3. Транспортный уровень в действии .....	72
6.4. Клиентские и серверные приложения .....	73
6.5. Серверные приложения и порты.....	74
6.6. Заключение .....	75
6.7. Глоссарий.....	76
6.8. Контрольные вопросы.....	76
<b>Глава 7. Прикладной уровень.....</b>	<b>79</b>
7.1. Клиентские и серверные приложения .....	79
7.2. Протоколы прикладного уровня.....	81
7.3. Исследование протокола HTTP .....	82
7.4. Протокол доступа к электронной почте IMAP .....	86
7.5. Управление потоками .....	87
7.6. Создание сетевых приложений .....	89
7.7. Заключение.....	90
7.8. Глоссарий.....	90
7.9. Контрольные вопросы .....	91
<b>Глава 8. Безопасность транспортного уровня .....</b>	<b>95</b>
8.1. Шифрование и дешифрование данных .....	96
8.2. Два типа ключей шифрования .....	96
8.3. Слой защищенных сокетов (SSL).....	98
8.4. Шифрование трафика веб-браузера .....	99
8.5. Сертификаты безопасности и центры сертификации.....	100
8.6. Заключение .....	101
8.7. Глоссарий.....	102
8.8. Контрольные вопросы.....	103
<b>Глава 9. Сетевая модель OSI.....</b>	<b>106</b>
9.1. Физический (первый уровень) .....	107
9.2. Канальный (второй уровень).....	107

---

9.3. Сетевой (третий уровень) .....	107
9.4. Транспортный (четвертый уровень) .....	108
9.5. Сеансовый (пятый уровень).....	108
9.6. Уровень представления (шестой уровень).....	108
9.7. Прикладной (седьмой уровень) .....	108
9.8. Сравнение моделей OSI и TCP/IP .....	108
9.9. Канальный уровень (TCP/IP).....	109
9.10. Сетевой уровень (TCP/IP).....	110
9.11. Транспортный уровень (TCP/IP).....	110
9.12. Прикладной уровень (TCP/IP).....	110
9.13. Заключение .....	110
9.14. Глоссарий .....	110
9.15. Контрольные вопросы.....	111
<b>Глава 10. Заключительная часть.....</b>	<b>113</b>

# Предисловие

Цель данной книги – дать общее представление о технической структуре и архитектуре сети интернет. Книга предназначена для широкой аудитории. Так, она подойдет даже тем, кто не обладает техническим опытом или математическими навыками. Интернет в своем строении удивителен, и его должны понимать все, кто им пользуется.

Несмотря на то что эта книга не затрагивает напрямую сертификации Network+ или CCNA, я все же надеюсь, что знакомство с ней послужит неплохой стартовой точкой для тех, кто в будущем желает получить эти сертификаты.

Я хочу выразить благодарность Памеле Фокс (Pamela Fox) из Академии Хана за идею создания вводного курса сетевых технологий с использованием открытых материалов.

Изначально материал, положенный в основу этой книги, представлял собой недельную лекцию, которую я читал в Школе информации Мичиганского университета в рамках курса «Сетевые вычисления» (Networked Computing – SI502) начиная с 2008 года. Затем я внес в эту лекцию некоторые уточнения и расширил ее, превратив в трехнедельный курс «История, технология и безопасность интернета» (Internet History, Technology, and Security – IHTS), который, начиная с 2012 года, посетило более 100 000 студентов в рамках проекта Coursera. Для того чтобы превратить курс лекций в полноценную книгу, я добавил некоторые детали, благодаря чему теперь она может быть полезна при прохождении вводного курса, посвященного архитектуре интернета, а также ее можно читать просто ради удовольствия.

Особенность этой книги заключается в том, что она представляет собой продукт сотрудничества с моими друзьями Мауро Тозелли (Mauro Toselli) (@xlontrax) и Сью Блюменберг (Sue Blumenberg). С Мауро и Сью я познакомился в 2012 году. Тогда они были волонтерами в Community Teaching Assistants (CTAs) для моего курса IHTS (Internet History, Technology, and Security) в Coursera. За последние три года мы стали коллегами и хорошими друзьями. К слову, это отличный пример того, как открытое образование объединяет людей.

Дополнительные материалы к этой книге можно найти по адресу <http://www.net-intro.com/>.

Если вам понравилась книга или же, напротив, вы нашли в ней ошибки, свяжитесь со мной в Twitter.

*Чарльз Р. Северанс (@drchuck)*

[www.dr-chuck.com](http://www.dr-chuck.com)

Анн-Арбор, Мичиган, США

20 мая 2015 года

# Глава 1

## Введение

На первый взгляд использование сети интернет выглядит крайне просто. Мы переходим на какой-либо веб-адрес, и открывается нужная страница. Или же мы заходим в нашу любимую социальную сеть и просматриваем фотографии друзей, семейные фото или снимки с домашними животными. Однако за кажущейся простотой скрывается большое количество сложного программного и аппаратного обеспечения. Разработка технологий, на основе которых работает современный интернет, началась в 1960-х годах. Так, созданию первого «интернета» в 1980-х годах в рамках проекта NSFNet предшествовали 20 лет исследования технологии межсетевое взаимодействия. С тех пор благодаря исследованиям и разработкам в области сетевых технологий сети стали больше, быстрее, и теперь могут связывать миллиарды устройств по всему миру.

С целью лучше понять, как работает интернет сегодня, рассмотрим с помощью каких технологий осуществлялась коммуникация людей и устройств на протяжении многих лет.

### 1.1. Общение на расстоянии

Представьте группу из пяти человек, сидящих в кругу. Для нас вполне естественно говорить с любым человеком в комнате, но только если все находящиеся в ней вежливы и не ведут разговоры параллельно друг с другом. Так, в этой ситуации людям просто нужно уметь слышать друг друга и координировать использование общего пространства в комнате.

Но что, если поместить этих людей в разные комнаты таким образом, чтобы они больше не могли видеть и слышать друг друга? Как пара людей сможет общаться друг с другом? Один из способов – проложить между ними провод с микрофоном на одном конце и динамиком на другом. Однако в таком случае остальные все еще будут слы-

шать их разговор, поэтому необходимость в ведении только одного разговора сохраняется.

Каждому человеку потребуется четыре динамика (для каждого потенциального собеседника) и большое количество проводов. Осуществить подобное для пяти человек – проблема, однако становится еще сложнее, если количество участников возрастает до сотни или тысячи.

Именно так выглядели первые телефонные системы 1900-х годов – провода, микрофоны, динамики. Поскольку о прокладке проводов между всеми телефонами не могло идти и речи, эти системы не позволяли всем людям объединиться в единую сеть. Каждый из них мог связаться только с *оператором*, который затем соединял два провода вместе, чтобы пара людей могла начать разговор. Когда разговор заканчивался, оператор отсоединял провода.

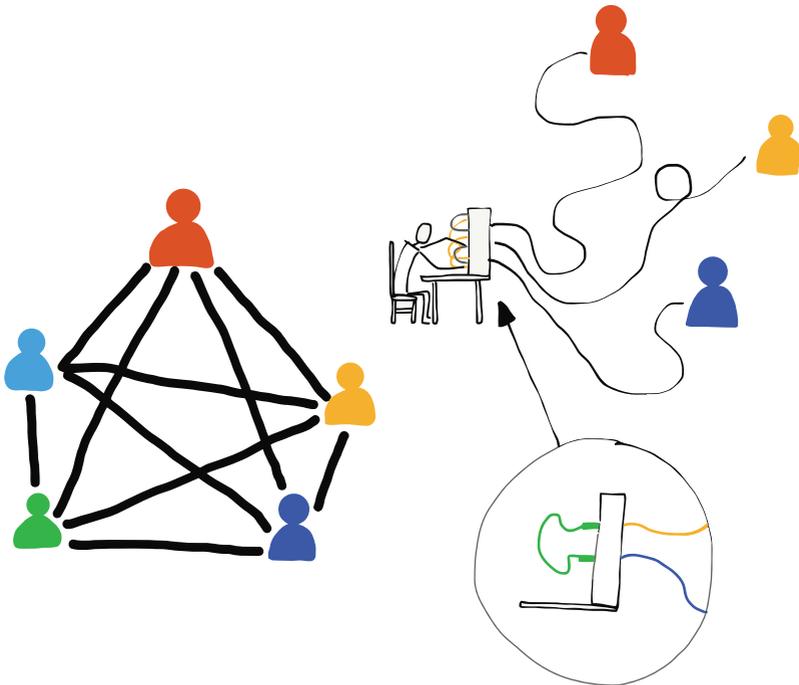


Рис. 1.1. Общение с помощью телефонных операторов

Первые локальные телефонные системы работали при условии, если дом или офис клиента был близко к зданию, где находится оператор, и между ними можно было проложить провод.

Но что, если в связи нуждались тысячи людей, находящихся на расстоянии сотен километров друг от друга? Разумеется, проложить 100-км линию связи от каждого дома к одному центральному офису оператора невозможно. Вместо этого телефонные компании создали систему с несколькими центральными офисами и проложили между ними телефонные линии. Так, при осуществлении коммуникации на больших расстояниях соединение может проходить через несколько центральных офисов. До появления оптоволоконных кабелей междугородные телефонные линии прокладывались через огромные столбы с большим количеством проводов. Количество проводов на столбах представляло количество возможных параллельных междугородных телефонных звонков.



**Рис. 1.2.** Столбы междугородной телефонной сети

По мере увеличения длины телефонных линий росла и их стоимость. Поэтому вышеописанные соединения, проходящие через несколько центральных офисов, были довольно дорогими и немногочисленными. На первых порах локальные звонки были относительно недорогими. Однако междугородные соединения были намного дороже и тарифицировались поминутно. Такая ценовая политика объяснялась тем, что во время разговора по междугородному телефону никто другой не мог воспользоваться этим же соединением. Телефонным компаниям были выгодны более короткие разговоры, благодаря

чему междугородные соединения быстрее становились доступными для других клиентов.

После появления волоконно-оптической связи телефонные компании начали использовать более продвинутые методы соединения клиентов, позволяющие передавать множество междугородных соединений по одной линии. Если на какой-либо старой фотографии вы видите множество проводов на одном столбе, скорее всего, это телефонные линии, которые использовались не для передачи электричества.

## 1.2. Компьютеры общаются иначе

Когда люди разговаривают по телефону, сначала они совершают звонок, общаются какое-то время, а затем кладут трубку. Согласно статистике, большая часть времени уходит отнюдь не на сам разговор. По крайней мере, так было раньше, когда смартфоны были далеко не у всех. Однако процесс коммуникации у различных устройств, в том числе и приложений на вашем смартфоне, значительно отличается от человеческого. Иногда они посылают короткие сообщения для того, чтобы проверить, доступно ли другое устройство. Иногда отправляют сообщения среднего размера, например одно изображение или длинное сообщение электронной почты. Также они могут отправлять и большие сообщения, например целый фильм или часть программного обеспечения для установки. Загрузка таких файлов может занимать минуты или даже часы. Так, при взаимодействии между устройствами сообщения могут быть короткими, среднего размера или же длинными.

Изначально пары устройств также соединялись с помощью проводов. Самый простой способ отправить данные с одного устройства на другое – выстроить исходящие сообщения в очередь и посылать сообщения одно за другим с такой скоростью, с какой устройства и соединения могут передавать данные. В таком случае каждое сообщение ожидает своей очереди, а затем, после того как будут отправлены предшествующие сообщения, оно передается через соединение.

Если устройства находились в одном здании, их легко можно было соединить проводами. Если они находились в одном городе, обычно приходилось арендовать каналы у телефонных компаний. Владельцы устройств зачастую просили соединять линии в их центральном офисе, чтобы одному устройству не приходилось каждый раз устанавливать связь с другим. Такие арендованные *выделенные каналы* были лучшим решением, поскольку они всегда находились в активном режиме. Использовались они 24 часа в сутки и поэтому стоили довольно дорого.

В случае, если устройства находились в разных городах, выделенные каналы расширялись посредством прокладки дополнительных проводов, соединяющих центральные офисы. Поскольку соединений между центральными офисами было мало, междугородные выделенные каналы были дорогими, и их стоимость росла по мере увеличения длины проложенных линий. Однако, если у владельца было достаточно денег, он мог арендовать прямой канал между устройствами для обмена данными. Но такая система работала только между устройствами одного производителя, поскольку у каждого из них был собственный способ использования телефонных каналов для соединения устройств и отправки данных.

### 1.3. Ранние глобальные сети передачи данных с промежуточным хранением

В 1970–80-х годах исследователи, работающие в разных университетах мира, как никогда нуждались в возможности отправлять друг другу сообщения и данные с помощью таких соединений между устройствами. Однако стоимость каждого соединения была крайне высока и росла с увеличением расстояния. Именно поэтому зачастую устройства были подключены только к ближайшим машинам. Но, если устройство, к которому вы были подключены, было подключено к другому устройству, а это устройство в свою очередь – к третьему и т. д., появлялась возможность отправить сообщение на большее расстояние (при условии, что каждое из задействованных устройств сможет хранить и передавать ваши данные).

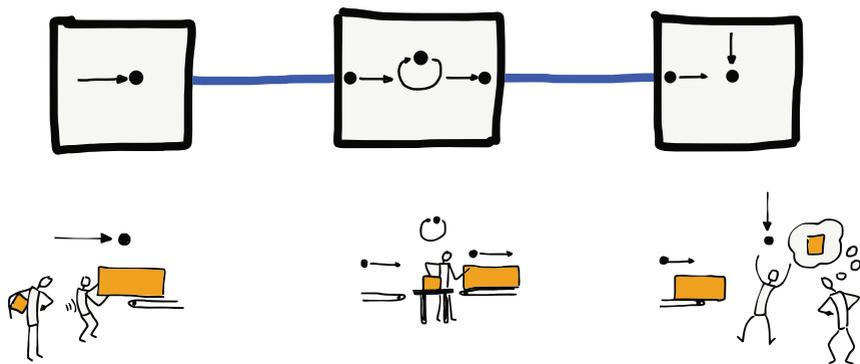


Рис. 1.3. Сети передачи данных с промежуточным хранением

Со временем при относительно небольшом количестве соединений появилась возможность отправлять данные на большие расстояния с помощью «лоскутного одеяла» сетевых соединений. Однако этот процесс занимал довольно много времени. Так, перед отправкой на следующее устройство по маршруту сообщение сталкивалось с большим количеством очередей. После доставки сообщения на промежуточное устройство оно хранилось некоторое время (которое варьировалось в зависимости от трафика и могло составлять до нескольких часов), а затем перенаправлялось на другое соединение (совершало *переход*).

Таким образом, отправка одного сообщения могла занимать минуты, часы или даже дни (в зависимости от трафика на каждом этапе маршрута). Однако это все же было намного быстрее, чем посылать в другую страну письмо или почтовую открытку.

## 1.4. Пакеты и маршрутизаторы

Самым важным нововведением, позволившим сообщениям быстрее перемещаться по сети с несколькими переходами, стало разбиение каждого сообщения на небольшие фрагменты, которые впоследствии отправлялись по отдельности. В области сетевых коммуникаций эти сообщения называются *пакетами*. Впервые эта идея была высказана в 1960-х годах, однако до 1980-х годов она не имела широкого распространения, поскольку ее реализация требовала большей вычислительной мощности и более сложного сетевого программного обеспечения.

При разбиении сообщения на отдельные пакеты, если короткое сообщение было отправлено после длинного сообщения, первому не приходилось ждать завершения отправки второго. Вместо этого первому пакету короткого сообщения требовалось дожидаться лишь завершения отправки текущего пакета длинного сообщения. До тех пор, пока короткое сообщение не было отправлено полностью, а передача длинного сообщения не возобновилась по полному сетевому соединению, система чередовала отправки пакетов этих сообщений.

Разбиение сообщения на пакеты значительно сократило объем памяти, требующейся от промежуточных устройств. Теперь вместо того, чтобы хранить сообщения в течение нескольких часов, им достаточно было хранить некоторое количество пакетов лишь несколько секунд, а остальные пакеты ожидали своей очереди на исходящем канале.

По мере отказа от сетей с промежуточным хранением начали появляться особые устройства, специализирующиеся на транспортировке пакетов. Первоначально они назывались *интерфейсными процессорами обработки сообщений* (Interface Message Processors – IMPs)

и представляли собой интерфейсы между обычными устройствами и остальной частью сети. Позже эти устройства получили название *маршрутизаторов*, поскольку их цель заключалась в маршрутизации получаемых пакетов к конечному месту назначения.

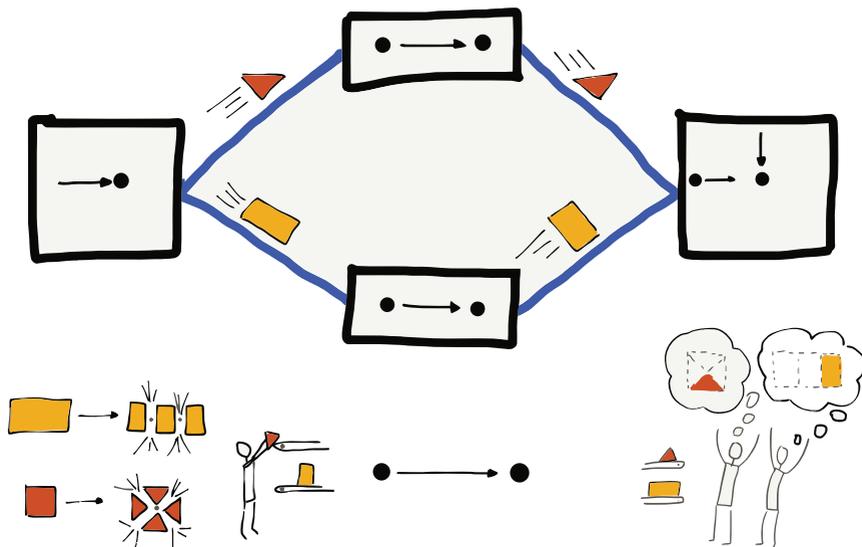


Рис. 1.4. Отправка пакетов

С появлением маршрутизаторов, специализирующихся на транспортировке пакетов по сетям с несколькими переходами, подключать устройства разных производителей к одной сети стало намного проще. Все, что для этого требовалось, – подключить обычное устройство к маршрутизатору. Остальную же работу по организации связи выполняли другие маршрутизаторы.

Если несколько устройств, находящихся рядом, были объединены в *локальную сеть* (Local Area Network – LAN) с помощью физического провода, следовало подключить маршрутизатор к локальной сети. Затем, после отправки данных через маршрутизатор все устройства в этой сети могли отправлять данные дальше через *глобальную сеть* (Wide Area Network – WAN).

## 1.5. Пакеты и адресация

В первых сетях передачи данных с промежуточным хранением для каждого сообщения необходимо было иметь информацию об ис-

ходном и конечном устройствах. Каждый из них имел уникальный номер, который назывался *адресом*. Перед отправкой сообщения на другое устройство сначала необходимо было указать исходный и конечный адреса. В таком случае устройства, хранящие и передающие сообщения, могли выбрать для него оптимальный маршрут.

При разбиении длинного сообщения на отдельные пакеты для выбора оптимального маршрута исходный и конечный адреса должны были быть указаны для каждого из них. Помимо этого, для каждого пакета требовались данные, сообщающие «относительный адрес» или положение пакета в сообщении, что позволяло принимающему устройству собрать пакеты в правильном порядке и восстановить исходное сообщение.

## 1.6. Вывод

Объединив все вышеописанные аспекты, мы с легкостью сможем понять, как устроена современная сеть интернет. Итак, существуют специализированные устройства, называемые маршрутизаторами, которые отвечают за транспортировку пакетов от источника к месту назначения. На пути от исходного устройства к конечному каждый пакет проходит через несколько таких маршрутизаторов.

Несмотря на то что зачастую пакеты представляют собой части более крупного сообщения, маршрутизаторы пересылают каждый из них по отдельности, опираясь на указанные исходные и конечные адреса. Пакеты одного и того же сообщения могут проходить по разным маршрутам. Также иногда пакеты приходят не по порядку; более поздний пакет может прибыть раньше предыдущего в результате так называемых заторов. Каждый пакет содержит «относительный адрес», который в дальнейшем позволяет конечному устройству собрать пакеты в правильном порядке и восстановить исходное сообщение.

Благодаря созданию сетей с несколькими переходами общая стоимость связи внутри определенной географической области может распределяться между большим количеством связанных и отдельных пользователей. Обычно пакеты следуют по кратчайшему маршруту, однако, если соединение на этом маршруте перегружено или прервано, маршрутизаторы могут скооперироваться и перенаправить трафик. Таким образом, пакеты транспортируются по иным, в том числе более длинным маршрутам, в конечном итоге позволяющим доставить пакеты быстрее.

Итак, интернет строится на основе набора взаимодействующих маршрутизаторов, которые одновременно способны перемещать пакеты из разных источников в разные пункты назначения. Каждое устройство или локальная сеть подключены к маршрутизатору, который перенаправляет трафик в различные пункты назначения. Маршрутизатор может обрабатывать данные с одного устройства, например смартфона, с нескольких устройств в одном здании или с тысячи устройств, подключенных к сети университетского городка. Термин «интернет» происходит от термина *internetworking* (межсетевое взаимодействие), который подразумевает соединение множества сетей для совместной работы. Наши устройства подключаются к локальным сетям, а интернет соединяет локальные сети вместе, таким образом все подключенные устройства могут взаимодействовать друг с другом.



Рис. 1.5. Глобальное соединение

## 1.7. Глоссарий

*Адрес* – уникальный номер, который присваивается устройству и позволяет маршрутизировать сообщения на него.

*Выделенный канал* – постоянно активное соединение для отправки данных на большие расстояния, арендуемое у телефонной компании или другого подобного предприятия.

*Глобальная сеть* – сеть, покрывающая большие расстояния вплоть до возможности отправки сообщений по всему миру. Обычно такая сеть строится с использованием каналов связи, принадлежащих нескольким различным организациям.

*Локальная сеть* – сеть, охватывающая ограниченную возможностью прокладки проводов или мощностью радиопередатчика область.

*Маршрутизатор* – специализированное устройство, предназначенное для приема входящих пакетов по нескольким каналам и быстрой транспортировке пакетов по наиболее оптимальному исходящему каналу с целью ускорения их доставки.

*Оператор (телефонный)* – сотрудник телефонной компании, помогающий людям осуществлять телефонные звонки.

*Переход* – физический участок сети. Как правило, на пути от исходного к конечному устройству пакеты совершают несколько переходов.

*Пакет* – фрагмент более крупного сообщения ограниченного размера. Большие сообщения или файлы разбиваются на множество пакетов, каждый из которых впоследствии отправляется отдельно. Обычно максимальный размер пакета составляет от 1000 до 3000 знаков.

*Сеть передачи данных с промежуточным хранением* – сеть, в которой при отправке данных с одного устройства на другое сообщение сохраняется на промежуточном устройстве до тех пор, пока для него не станет доступным исходящее сетевое соединение (обычно этот период довольно долгий).

## 1.8. Контрольные вопросы

Вы можете пройти этот тест онлайн по адресу <http://www.net-intro.com/quiz/>.

1. Чем занимались первые телефонные операторы?
  - А. Обслуживали вышки сотовой связи.
  - Б. Соединяли пары проводов, чтобы люди могли разговаривать по телефону.
  - В. Прокладывали медные провода между городами.
  - Г. Сортировали пакеты по мере их поступления в место назначения.

2. Что такое выделенный канал?
  - А. Граница между арендованным и находящимся в собственности телефонным оборудованием.
  - Б. Кабель между клавиатурой и монитором.
  - В. Провод, идущий от одного офиса телефонной компании к другому.
  - Г. Постоянное телефонное соединение.
3. Как долго при сетевой передаче с промежуточным хранением сообщение может храниться на промежуточном компьютере?
  - А. Менее секунды.
  - Б. Не более четырех секунд.
  - В. Менее минуты.
  - Г. До нескольких часов.
4. Что такое пакет?
  - А. Упаковка товаров для отправки.
  - Б. Небольшая емкость для хранения.
  - В. Часть более крупного сообщения, отправляемого по сети.
  - Г. Объем данных, который можно было сохранить на перфокартах ранних версий.
5. Какое из приведенных ниже определений соответствует термину «маршрутизатор»?
  - А. Сортировщик почты.
  - Б. Холодильник.
  - В. Скоростной поезд.
  - Г. Кабель связи.
6. Как назывались первые сетевые маршрутизаторы?
  - А. Процессоры межконфессиональных сообщений (Interfaith Message Processors).
  - Б. Перцептроны движения в интернете (Internet Motion Perceptrons).
  - В. Программы мгновенного обмена сообщениями (Instant Message Programs).
  - Г. Интерфейсные процессоры сообщений (Interface Message Processors).
7. Что еще требовалось для правильной маршрутизации каждого сегмента сообщения помимо разделения больших сообщений на более мелкие части?

- А. Адрес источника и приемника в каждом сегменте сообщения.
  - Б. ID и пароль для каждого сегмента сообщения.
  - В. Маленькая батарея для хранения каждого сегмента сообщения.
  - Г. Небольшой блок отслеживания для поиска потерянных сообщений, например GPS.
8. Почему отправка сообщений по всему миру через интернет осуществляется практически бесплатно?
- А. За все соединения платят правительства.
  - Б. Соединения оплачиваются за счет рекламы.
  - В. Ресурсами делятся и пользуются большое количество людей.
  - Г. Взимать плату за междугородные соединения незаконно.