

Е. В. БУРЦЕВА, А. В. ПЛАТЁНКИН, И. П. РАК

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ, СЕТИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ



**Тамбов
Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»
2025**

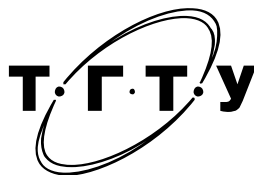
Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Тамбовский государственный технический университет»

Е. В. БУРЦЕВА, А. В. ПЛАТЁНКИН, И. П. РАК

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ, СЕТИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

Утверждено Ученым советом университета в качестве учебного пособия
для студентов, обучающихся по направлению подготовки
09.03.03 «Прикладная информатика», очной формы обучения

Учебное электронное издание



Тамбов
Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»
2025

УДК 004.7(075.8)
ББК з973.202я73
Б91

Рецензенты:

Кандидат технических наук,
ведущий инженер-программист абонентского участка в г. Тамбове
ООО «Газпром межрегионгаз Тамбов»
А. Ю. Сенкевич

Кандидат технических наук, доцент,
директор Института заочного обучения
ФГБОУ ВО «ТГТУ»
Н. В. Майстренко

Бурцева, Е. В.

Б91 Вычислительные системы, сети и телекоммуникации [Электронный ресурс] : учебное пособие / Е. В. Бурцева, А. В. Платёнкин, И. П. Рак. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2025. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Системные требования : ПК не ниже класса Pentium II ; CD-ROM-дисковод ; 3,5 Mb ; RAM ; Windows 95/98/XP ; мышь. – Загл. с экрана.
SBN 978-5-8265-2884-6

Представлены понятия информации, вычислительной системы, вычислительной сети и линии связи, история развития вычислительных систем и сетей, а также рассмотрены эталонная модель взаимодействия открытых систем, физическая среда передачи данных (кабели) и основные виды сетевого оборудования.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлению подготовки 09.03.03 «Прикладная информатика», очной формы обучения, а также может быть полезным для тех, кто хочет получить базовые знания в области вычислительных систем и компьютерных сетей.

УДК 004.7(075.8)
ББК з973.202я73

*Все права на размножение и распространение в любой форме остаются за разработчиком.
Нелегальное копирование и использование данного продукта запрещено.*

SBN 978-5-8265-2884-6

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «ТГТУ»), 2025

ВВЕДЕНИЕ

Сетевые технологии стали неотъемлемой частью нашей жизни, мы их постоянно используем как в повседневной, так и профессиональной деятельности. Трудно представить современную жизнь без Всемирной паутины (англ. World Wide Web, WWW), электронной почты, мессенджеров, облачных технологий и т.п.

Учебное пособие предназначено для подготовки студентов направления «Прикладная информатика» и соответствует программе дисциплины «Вычислительные системы, сети и телекоммуникации», входящей в состав обязательной части образовательной программы.

В пособии рассматриваются следующие базовые теоретические вопросы:

- понятие, классификация и свойства информации;
- понятие и классификация вычислительных систем;
- компоненты, назначение и классификация вычислительных сетей;
- топологии сетей;
- эталонная модель взаимодействия открытых систем (модели OSI);
- понятие, классификация и характеристики линий связи;
- основные типы кабелей (коаксиальный, витая пара и волоконно-оптический) и сетевого оборудования.

Данное пособие направлено на формирование знаний физических основ компьютерной техники и средств передачи информации, принципов построения и функционирования информационно-коммуникационных систем.

Материал, изложенный в пособии, может быть полезен лицам, изучающим построение и функционирование сетей.

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

1.1. ИНФОРМАЦИЯ: ПОНЯТИЕ, КЛАССИФИКАЦИЯ, СВОЙСТВА, ИЗМЕРЕНИЕ

Понятие «*информация*» происходит от латинского слова «*informatio*» – сведения, разъяснение, понимание. В разных случаях (технике, науке, житейских ситуациях) в него вкладывают различный смысл.

До середины XX века понятие «информация» подразумевало сообщение, которое передавало сведения от одного человека другому или от группы людей группе. Однако с развитием технологий, способных осуществлять передачу данных не только между людьми, но и между человеком и машиной, а также между машинами, понятие информации претерпело значительные изменения.

Рассмотрим некоторые из определений «информация» в качестве примера.

Информация – сообщение или сигнал, совокупность данных, сведения, рассматриваемые в контексте их содержания, структурной организации, динамики (процессов создания, передачи, восприятия, использования, анализа, хранения и т.п.) (Большая российская энциклопедия) [1].

Информация – сведения (сообщения, данные) независимо от формы их представления (Федеральном законе РФ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации») [11].

Информация – сведения об окружающем мире и протекающих в нем процессах, воспринимаемые человеком или специальным устройством (Толковый словарь Ожегова) [14].

Существуют три наиболее распространенных концепции информации, каждая из которых по-своему объясняет ее сущность (рис. 1).

1. *Вероятностная концепция*, разработанная К. Шенноном, представляет собой количественно-информационный подход, который рассматривает информацию как меру неопределенности (энтропию) события. Чем выше вероятность получения сообщения, тем меньше информации оно содержит. Этот подход применяется для измерения и кодирования информации в различных технических устройствах.

2. *Атрибутивная концепция* – рассматривает информацию как обязательное свойство (атрибут) материи. Согласно данной концепции информация содержится во всех без исключения элементах и системах материального мира. Информация не может существовать вне материального носителя. Ее можно создавать, накапливать, хранить, передавать, копировать, перерабатывать и т.п. В качестве носителя информации может выступать как физический объект, так и энергетический, т.е. сигнал (световой, звуковой, электрический и т.д.).



Рис. 1. Концепции информации

3. *Семантическая (смысловая, антропоцентрическая) концепция* – базируется на логико-семантическом подходе, где информация – это знание, которое рассматривается не как абстрактное понятие, а как ресурс для активного использования, управления и самоуправления.

При автоматизированной обработке и передаче информации с применением каких-либо технических устройств, как правило, имеет значение объем (количество символов) сообщения, а не его смысловая нагрузка. В этом случае больше подходит термин «данные», а не «информация». Поэтому в вычислительных системах и сетях часто понятие «информация» является синонимом «данные».

Классификация информации.

Для классификации информации применяются разные критерии (рис. 2).

1. По способу восприятия человеком: визуальная; аудиальная; тактильная; обонятельная; вкусовая [4].

2. По содержанию:

- количественная – это информация, которая может быть измерена и выражена числами (например, скорость передачи данных, длина кабеля);

- качественная – это информация, которая описывает свойства или характеристики объекта, не используя числа (например, цвет предмета, мнение о продукте).

3. По стадии обработки:

- первичная – это сырые данные, полученные непосредственно от источника (например, результаты измерений, опросы или наблюдения);

- вторичная – это обработанная или интерпретированная первичная информация (например, научная статья, аналитический отчет).

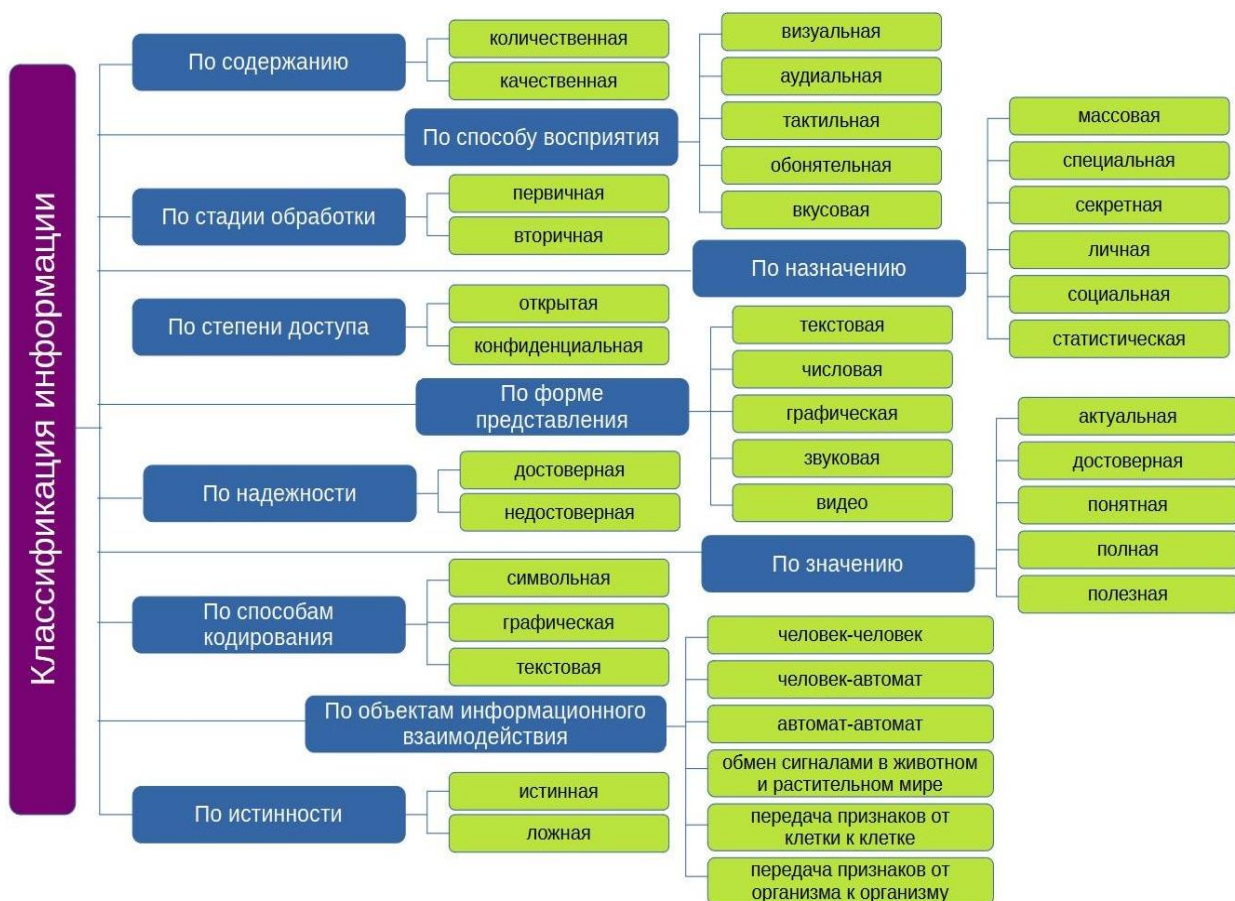


Рис. 2. Классификация информации

4. По форме представления:

- текстовая – передаваемая в виде символов, предназначенных обозначать лексемы языка;
- числовая – в виде цифр и знаков, обозначающих математические действия;
- графическая – в виде рисунков, фотографий, диаграмм, чертежей на бумаге, холсте, мраморе и других материалах;
- звуковая (акустическая) – передача лексем языка аудиальным путем;
- видео – последовательность изображений, которое может быть воспроизведено;
- машинная (цифровая) – выдаваемая и воспринимаемая средствами вычислительной техники.

5. По назначению:

- массовая – содержит тривиальные сведения и оперирует понятиями, понятными большинству людей;
- специальная – набор терминов для передачи информации, которую широкая аудитория не поймет, но необходима для общения в определенных социальных группах;
- секретная – передаваемая узкому кругу лиц и по защищенным каналам;

- личная (приватная) – набор сведений о какой-либо личности;
- социальная – система знания, которая характеризует политические, экономические и культурологические процессы;
- статистическая – официальная информация, задокументированная государством и содержащая цифровые данные о массовых событиях, явлениях и процессах в экономической, культурной, социальной и других сферах жизни общества [6].

6. По степени доступа:

- открытая – это информация, доступная для всеобщего использования без ограничений;
- конфиденциальная – это информация, доступ к которой ограничен определенным кругом лиц (например, секретные документы, персональные данные).

7. По значению:

- актуальная – информация, ценная в данный момент времени;
- достоверная – информация, полученная без искажений;
- понятная – информация, выраженная на языке, понятном тому, кому она предназначена;
- полная – информация, достаточная для принятия правильного решения или понимания;
- полезная – полезность информации определяется субъектом, получившим информацию в зависимости от возможностей ее использования.

8. По объектам информационного взаимодействия:

- человек-человек;
- человек-автомат;
- автомат-автомат;
- обмен сигналами в животном и растительном мире;
- передача признаков от клетки к клетке;
- передача признаков от организма к организму.

9. По способам кодирования:

- символная – основанная на использовании символов (букв, цифр, знаков и т.д.). Является наиболее простой, применяется только для передачи простых сигналов (например, сигналы светофора);
- графическая – основанная на использовании графических примитивов (например, фотографии, схемы, рисунки);
- текстовая – основанная на использовании комбинаций символов (буквы, цифры, математические знаки). Имеет значение не только символы, но также их сочетания и порядок следования.

10. По надежности:

- достоверная – это информация, верность которой подтверждена. Она основана на фактах, проверенных данными или экспериментами;
- недостоверная – информация, верность которой не подтверждена или вызывает сомнения.

По истинности: истинная и ложная.

Свойства информации.

Как и любой объект, информация имеет определенные характеристики. На эти характеристики влияют как свойства исходных данных, составляющих содержание информации, так и характеристики методов, используемых для ее фиксации.

В процессе работы с информацией всегда присутствуют источник, генерирующий данные, и получатель, воспринимающий эти данные. В качестве источника или получателя может выступать любой объект материального мира: человек, техническое устройство, животное или растение.

Качество информации – степень ее соответствия потребностям потребителей. Свойства информации являются относительными, так как зависят от потребностей потребителя информации.

Рассмотрим основные свойства информации (рис. 3).

1. *Новизна* – это показатель наличия сведений о ранее не известных характеристиках объекта, процесса или явления. Сообщение, которое не помогает узнать что-то новое о объекте, процессе или событии, не является информацией.

2. *Объективность* информации определяется ее независимостью от чьего-либо мнения или восприятия, а также от способов ее получения. Чем меньше субъективности в методах получения и обработки информации, тем более объективной она является.

Для получения объективной информации необходимо использовать исправные измерительные приборы. Однако, когда информация попадает в сознание человека, она может быть искажена в зависимости от его мнения, суждений, опыта и знаний. В результате информация может перестать быть объективной.



Рис. 3. Свойства информации

3. *Полнота (достаточность)* – свойство информации исчерпывающе (для данного потребителя) характеризовать отображаемый объект, процесс или явление.

Информация может считаться полной, если она включает в себя необходимый и достаточный объем сведений для принятия обоснованного решения. О полноте информации можно говорить, когда добавление каких-либо дополнительных данных об объекте уже не будет способствовать повышению эффективности принимаемых на основе этой информации решений.

Как недостаточность, так и избыточность сведений снижают результативность решений, принимаемых на их основе.

4. *Достоверность* – это свойство информации, отражающее реальное положение вещей с необходимой точностью. Недостоверная информация может привести к искаженному пониманию ситуации и, как следствие, к принятию неверного решения.

Информация появляется в результате фиксации сигналов, но не все из них являются значимыми, так как всегда существует определенный уровень посторонних сигналов – «информационного шума» [3].

Если полезный сигнал регистрируется четче помех, то достоверность информации возрастает. Но при повышении уровня шумов достоверность снижается. Чтобы передать тот же объем данных, приходится увеличивать их количество или использовать сложные методы.

Причинами недостоверности, например, могут быть:

- искажение в результате воздействия помех;
- ошибки при передаче или фиксации информации из-за неисправности аппаратуры или неправильно выбранных методов;
- преднамеренное искажение (дезинформация).

Со временем достоверная информация может стать недостоверной, так как она обладает свойством устаревать.

5. *Старение* представляет собой процесс постепенного снижения ценности информации, происходящий с течением времени. Устаревание информации не связано непосредственно со временем, а обусловлено появлением новых данных, которые могут уточнять, дополнять или полностью опровергать уже существующую информацию.

6. *Адекватность*, или *точность* представляет собой степень соответствия образа, формируемого на основе полученной информации, реальному объекту, процессу или явлению. В процессе формирования новых сведений из неточных или искаженных источников может появиться некорректная информация.

Неточная информация возникает, когда предоставляются неверные или искаженные данные, а также при неправильной обработке или передаче информации об объекте, событии или процессе. Однако даже полные и достоверные данные могут привести к созданию неадекватной информации, если они обрабатываются или интерпретируются неправильно.

В повседневной действительности индивид едва ли может рассчитывать на исчерпывающую точность сведений, поскольку всегда присутствует

элемент неопределенности. От того, насколько информация соответствует реальному положению дел, зависит обоснованность решений, принимаемых человеком [3].

7. *Актуальность* сведений определяется их значимостью для индивида или социума, а также возможностью их применения в контексте решения насущных задач. Это свойство в значительной степени зависит от временного промежутка, прошедшего с момента появления информации, и от скорости ее устаревания.

8. *Своевременность* – это ключевой аспект в передаче информации, который подразумевает ее получение в строго определенный момент, согласованный с решением задачи.

Лишь актуальная и своевременная информация способна принести ожидаемую пользу человечеству. Не случайно, прогноз погоды сообщают заблаговременно, а не в тот же день. В соответствии с этим же принципом ученые стремятся разработать более надежные методы предупреждения о землетрясениях, ураганах и прочих стихийных бедствиях.

9. *Полезность (ценность)* – определяют пригодность информации к нуждам конкретных ее потребителей для практического использования при решении поставленных задач. Данные становятся полезной информацией, если поступили своевременно, представляют интерес, новизну для решения практических задач.

10. *Понятность* – информация выражена в доступном для потребителя виде. Если ценная и своевременная информация выражена непонятным образом, она может стать бесполезной.

11. *Доступность* – свойство информации, характеризующее возможность ее получения данным потребителем. На степень доступности информации влияют одновременно как доступность данных, так и доступность адекватных методов для их интерпретации.

Невозможность получить доступ к данным или использование некорректных методов их обработки приводят к одному и тому же результату – информация становится недоступной.

В ситуациях, когда нет подходящих инструментов для работы с данными, часто применяются неподходящие методы, что приводит к получению неполной, некорректной или недостоверной информации [5].

12. *Эмоциональность* – свойство информации вызывать различные эмоции у людей. Чем сильнее вызываемые эмоции, тем больше вероятности обращения внимания и запоминания информации. Это свойство информации активно используется производителями медиаинформации (реклама, фильмы, музыка и т.п.).

13. *Репрезентативность* – это количественная и качественная характеристика объема сведений, достаточного для всестороннего и полного понимания наиболее существенных свойств изучаемого объекта, процесса или явления. Широко применяется в статистике для числового выражения того, насколько статистические характеристики, полученные в результате выборочного наблюдения, соответствуют характеристикам сплошного наблюдения.

Измерение информации.

В информатике используются различные подходы к измерению информации.

1. *Содержательный подход.* Сообщение несет информацию для человека, если содержащиеся в нем сведения являются для него новыми и понятными. В неинформативном сообщении количество информации, с точки зрения человека, равно нулю. Например, учебник для вуза по высшей математике содержит знания, но они не доступны для понимания первоклассника.

2. *Алфавитный подход.* Метод, основанный на алфавите, оценивает количество информации в тексте, записанном символами из определенного набора, не учитывая его содержание. Полученное значение зависит от размера текста, т.е. от количества символов.

Каждый символ текста несет определенное количество информации. Его называют информационным весом символа, поэтому информационный объем текста равен сумме информационных весов всех символов, составляющих текст (1).

$$I = i_1 + i_2 + i_3 + \dots + i_K = \sum_{j=1}^K i_j, \quad (1)$$

где i_j – информационный вес j -го символа текста; K – размер текста, т.е. полное число символов в тексте.

Все символы, которые используются для записи текстов, составляют алфавит. Количество символов в алфавите – это число, которое называется мощностью алфавита. Важно понимать, что в алфавите есть не только буквы определенного языка, но и другие символы: цифры, знаки препинания, скобки, пробелы и т.д.

При алфавитном подходе к измерению информации ее количество зависит не от содержания, а от размера текста и мощности алфавита.

3. *Вероятностный подход.* Согласно концепции К. Шеннона, информативность сообщения характеризуется содержащейся в нем полезной информацией – той частью сообщения, которая снимает полностью или уменьшает неопределенность какой-либо ситуации. Неопределенность некоторого события – это количество возможных исходов данного события [5].

Формула для вычисления количества информации, учитывающая неодинаковую вероятность событий (2), была предложена К. Шенноном в 1948 г.

$$I = - \sum_{i=1}^N p_i \log_2 p_i, \quad (2)$$

где I – количество информации; N – количество возможных событий; p_i – вероятности отдельных событий.

Количество информации достигает максимального значения, если события равновероятны, поэтому количество информации можно рассчитать по формуле

$$I = \log_2 N. \quad (3)$$

Отсюда выходит формула связи количества возможных сообщений (N) и количества информации, которое несет это сообщение (i), для равновероятных событий (4)

$$N = 2^i. \quad (4)$$

В вычислительной технике в качестве единицы информации используется *бит* (от англ. «bit» – binary digit, двоичная цифра).

Бит в теории информации – это количество информации, необходимое для различения двух равновероятных сообщений. В вычислительной технике битом называют наименьший объем памяти, необходимый для хранения одного из двух знаков «0» или «1».

Бит – слишком мелкая единица измерения. На практике применяется более крупная единица – *байт* (1 байт = 8 битам).

Широко используются также еще более крупные производные единицы информации:

- килобайт (1 Кбайт = 2^{10} байт = 1024 байт);
- мегабайт (1 Мбайт = 2^{10} Кбайт = 2^{20} байт);
- гигабайт (1 Гбайт = 2^{30} байт);
- терабайт (1 Тбайт = 2^{40} байт).

В последнее время в связи с увеличением объемов обрабатываемой информации входят в употребление такие производные единицы, как:

- петабайт (1 Пбайт = 2^{50} байт);
- эксабайт (1 Эбайт = 2^{60} байт);
- зеттабайт (1 Збайт = 2^{70} байт);
- йоттабайт (1 Йбайт = 2^{80} байт).

1.2. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА: ПОНЯТИЕ, КЛАССИФИКАЦИЯ

Система (от греческого «systema» – целое, составленное из частей соединение) – это совокупность элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом, которая образует определенную целостность, единство [1]. Каждый элемент в системе можно рассматривать в качестве самостоятельных систем (подсистем). Элементы внутри системы связаны между собой, а через внешнюю среду – с другими системами.

Все системы, независимо от их природы, обладают рядом общих свойств, основными из которых являются:

- *целостность* представляет собой свойство системы, при котором совокупность элементов, рассматриваемая как единое целое, обладает общими характеристиками, функциональностью и поведением, причем свойства системы не могут быть сведены к сумме свойств ее составляющих частей;
- *делимость* представляет собой характеристику системы, заключающуюся в ее разделении на составляющие элементы, объединенные по определенному признаку, который соответствует конкретным целям и задачам;
- *многообразие элементов и различия их природы* – связаны с функциональными особенностями и автономностью элементов системы;

– *структурность* – определяет наличие устойчивых связей и отношений между элементами внутри системы, распределение элементов по горизонтали и уровням иерархии; обусловленность поведения системы не столько поведением ее отдельных элементов, сколько свойствами ее структуры.

Системы значительно отличаются между собой как по составу, так и по главным целям. Например, в качестве системы можно рассматривать как и организацию, состоящую из людей, оборудования, здания и т.д., так и компьютер, состоящий из электронных и электромеханических элементов, линий связи и т.д.

Первые компьютеры представляли собой гигантские машины, использовавшиеся только для проведения вычислений, что отразилось на их названии – *электронные вычислительные машины (ЭВМ)*. Термин *вычислительная система* возник в середине 60-х гг., когда появились интегральные схемы, и они стали элементной базой для компьютеров третьего поколения. Компьютеры на интегральных схемах существенно уменьшились в размерах, стали более быстродействующие и значительно дешевле, чем их предшественники, но обросли дополнительным оборудованием, необходимым для их эффективного использования.

В первых компьютерах операции ввода-вывода управлялись самими процессорами. Однако скорость работы внешних устройств была значительно ниже скорости процессора, поэтому во время операций ввода-вывода процессор фактически бездействовал.

Чтобы сбалансировать работу процессора и внешних устройств, в конце 1950-х – начале 1960-х годов в компьютерах начали использовать независимые процессоры, которые обеспечивали разделение процессов обработки информации и ее ввода-вывода. Это привело к появлению термина «вычислительная система», который отражал возможность построения параллельных ветвей в вычислениях, что не было предусмотрено классической структурой ЭВМ.

Вычислительная система – совокупность аппаратно-программных средств, образующих единую среду, предназначенную для решения задач обработки информации (вычислений) [1].

Создание вычислительных систем преследует следующие основные цели:

- повышение производительности системы за счет ускорения процессов обработки данных;
- повышение надежности и достоверности вычислений;
- предоставление пользователям дополнительных сервисных услуг;
- и т.д.

В основе вычислительных систем лежит компьютер (процессор). В состав аппаратной части системы, помимо процессора, входят разнообразные периферийные устройства, предназначенные для ввода, вывода, передачи, хранения и воспроизведения информации в различных форматах. Также система включает в себя подсистемы, обеспечивающие защиту от несанкци-

онированного доступа, устройства для бесперебойного питания и другие компоненты.

Изначально вычислительные системы строились на основе однопроцессорных ЭВМ. Однако с развитием технологий и увеличением быстродействия элементов микропроцессоров стало возможным создавать вычислительные системы, объединяющие несколько микропроцессоров и организующие параллельную обработку данных.

Параллелизм в вычислениях усложнил управление вычислительным процессом и распределение аппаратных и программных ресурсов. В связи с этим операционная система стала играть важную роль в вычислительной системе. Она отвечает за планирование вычислительного процесса и распределение ресурсов, таких как оперативная и внешняя память, процессоры и периферийное оборудование.

Классификация вычислительных систем.

Современные вычислительные системы сильно отличаются друг от друга своими возможностями и характеристиками, и этим обусловлено разнообразие признаков, по которым их классифицируют (рис. 4).

1. По назначению вычислительные системы делятся на универсальные и специализированные.

Универсальные предназначаются для решения широкого класса задач (от математических расчетов до обработки мультимедиа), т.е. такие системы должны обслуживать программное обеспечение, разработанное для самых разных сфер деятельности.

Специализированные – ориентированы на решение узкого класса задач.

2. По числу компьютеров или процессоров вычислительные системы делятся на многомашинные и многопроцессорные.

Многомашинная система представляет собой вычислительный комплекс, состоящий из нескольких компьютеров, функционирующих под управлением собственных операционных систем. Кроме того, в состав системы входят программные и аппаратные средства связи, обеспечивающие совместную работу всех компьютеров как единой системы.

Многопроцессорные системы представляют собой вычислительный комплекс, состоящий из нескольких процессоров, каждый из которых может работать независимо, выполняя свою задачу. Вся система работает под управлением общей операционной системы, которая обеспечивает распределение вычислительных задач между процессорами. Процессоры взаимодействуют через общую оперативную память.

Преимущество системы с несколькими процессорами заключается в том, что она способна обрабатывать большой объем информации за короткий промежуток времени. Это становится возможным благодаря тому, что несколько процессоров работают одновременно. Поскольку все процессоры имеют доступ к общей памяти, они могут обмениваться данными очень быстро. Это позволяет многопроцессорным системам эффективно выполнять даже те задачи, которые требуют интенсивной обработки данных.

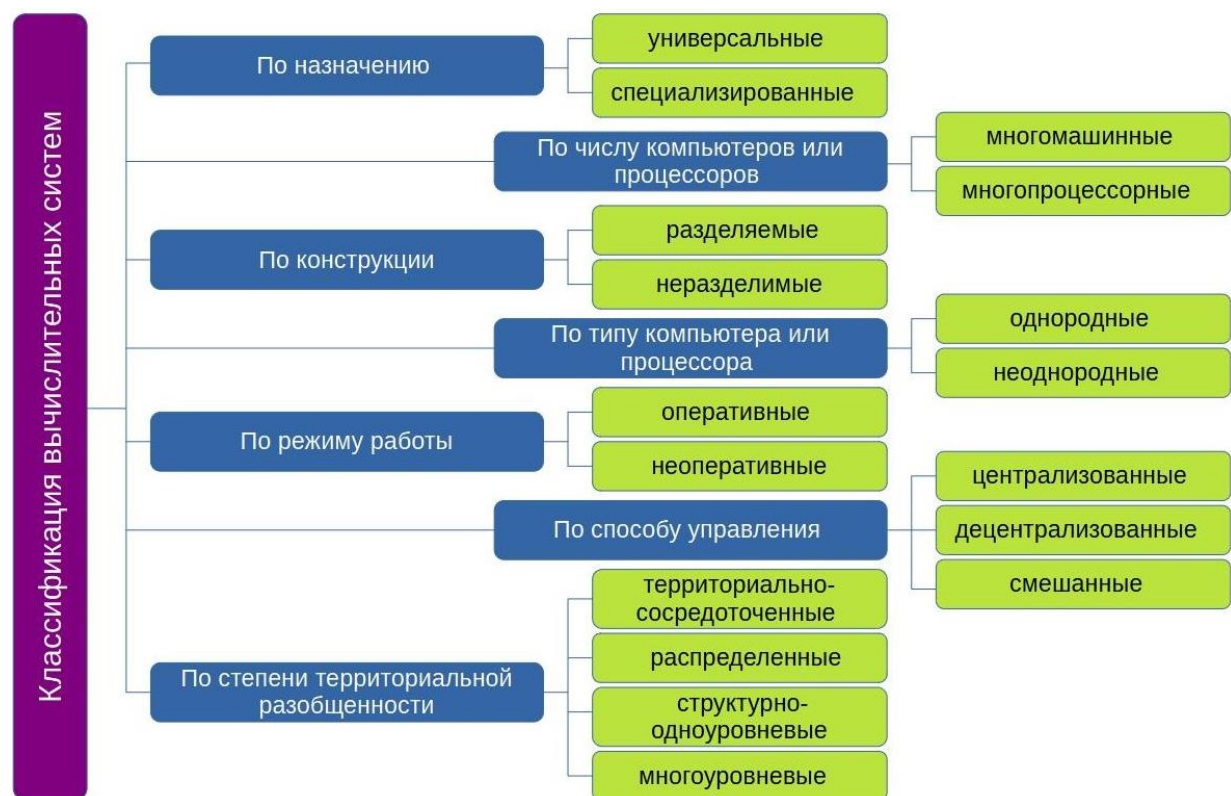


Рис. 4. Классификация вычислительных систем

3. По конструкции вычислительные системы делятся на разделяемые и неразделимые.

Разделяемые состоят из нескольких компьютеров, которые способны работать независимо друг от друга.

Неразделимые системы представляют собой комплексы, состоящие из компьютерных устройств или процессоров, функционирование которых возможно исключительно во взаимодействии друг с другом. Одним из примеров таких систем являются кластеры, включающие в себя несколько компьютеров, объединенных в единую сеть и размещенных в одном корпусе или связанных высокоскоростным каналом связи.

4. По типу компьютера или процессора вычислительные системы делятся на однородные и неоднородные.

В основе *однородной* вычислительной системы лежат компьютеры или процессоры одного типа, что обеспечивает применение типового набора программных средств и стандартных процедур подключения устройств. Такая организация системы упрощает ее обслуживание и модернизацию.

Неоднородная вычислительная система объединяет в себе разнообразные типы компьютеров или процессоров. Проектирование и эксплуатация такой системы требуют учета множества технических и функциональных характеристик каждого компонента. Это существенно усложняет процесс создания и поддержки подобных систем.

5. По режиму работы информационные системы можно разделить на оперативные (on-line) и неоперативные (off-line).

Оперативные системы, работающие в режиме реального времени, обеспечивают мгновенную реакцию на запросы. В таких системах ответы на запросы поступают сразу же.

В отличие от систем, работающих в режиме реального времени, в *неоперативных* системах допускается задержка в предоставлении ответа. В таких системах результаты выполнения запроса могут быть получены с некоторым опозданием.

6. В зависимости от способа управления системы подразделяются на централизованные, децентрализованные и смешанные.

В *централизованной* системе управление выполняет выделенный компьютер или процессор. Его задачами является распределение нагрузки между элементами, выделение ресурсов, контроль состояния ресурсов, координация взаимодействия.

В *децентрализованной* системе функции управления распределены между ее элементами, т.е. каждый процессор или компьютер действует автономно, решая свои задачи.

В *смешанной* системе совмещаются процедуры централизованного и децентрализованного управления. Следовательно, вычислительная система разбивается на группы взаимодействующих компьютеров (или процессоров), где в каждой группе осуществляется централизованное управление, а между группами – децентрализованное.

7. По степени территориальной разобщенности вычислительных модулей системы делятся на:

- *территориально-сосредоточенные* – это когда все компоненты располагаются в непосредственной близости друг от друга;

- *распределенные* – это когда компоненты могут располагаться на значительном расстоянии;

- *структурно-одноуровневые* – это когда имеется лишь один общий уровень обработки данных;

- *многоуровневые (иерархические)* – это когда машины (процессоры) организованы в соответствии с уровнями обработки данных, некоторые из них могут специализироваться на выполнении определенных функций.

2. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ И СЕТЕЙ

2.1. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Первые механические средства для выполнения различных арифметических операций были изобретены еще в XVII веке.

В 1642 году французский математик Блез Паскаль создал механическое устройство, которое могло складывать и вычитать числа. Это устройство получило название «Паскалина». А в 1673 году немецкий ученый Готфрид Лейбниц разработал более сложную машину, которая могла не только складывать и вычитать, но и умножать и делить числа. Это устройство получило название «арифмометр» (рис. 5).

В 1822 году профессор математики Кембриджского Университета Чарльз Бэббидж разработал и сконструировал аналитическую машину (рис. 5), в которую был заложен только один алгоритм – метод конечных разностей с использованием полиномов. Машина использовалась для подсчета таблиц чисел для морской навигации. Результаты выдавливались стальным штампом на медной пластине.

В 1937 году Джордж Роберт Стибиц (George Robert Stibitz), сотрудник исследовательского центра компании Bell Labs, в домашних условиях создал электромеханическую схему, выполняющую операцию двоичного сложения – двоичный сумматор (рис. 6). Работа устройства базировалась на положениях логики Буля, а роль логических вентилей в нем играли электромеханические реле. В настоящее время двоичный сумматор является неотъемлемой частью любого компьютера.



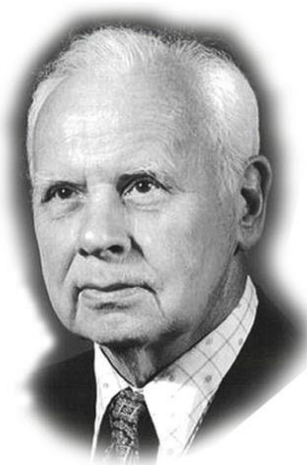
Рис. 5. Механические счетные машины



Двоичный сумматор



**Калькулятор
комплексных чисел**



**Джордж
Роберт Стибиц**

Рис. 6. Изобретения Джорджа Стибица

За период с 1939 по 1940 гг. Д. Стибиц совместно с коллегой инженером Сэмюэлем Б. Уильямсом (Samuel B. Williams) создали устройство, способное складывать комплексные числа, а также выполнять вычитание, умножение и деление (рис. 6). Это устройство они назвали калькулятором комплексных чисел (CNC, Complex number calculator).

С 1940 до 1949 годы аппарат Д. Стибица активно использовался для внутренних нужд компании Bell Labs. При помощи телетайпа по отдельным телефонным линиям он был связан с отделениями компании, что позволяло их сотрудникам пользоваться калькулятором на расстоянии. Таким образом впервые был использован удаленный доступ к вычислительным ресурсам.

Нулевое поколение компьютеров.

В 1938 году в Германии под руководством инженера Конрада Цузе была создана первая в мире вычислительная машина Z1. Она была разработана на основе механических арифмометров [9].

В 1941 году по заказу компании IBM молодой гарвардский математик Говард Эйкен и еще четыре инженера этой компании разработали и построили первый программируемый компьютер «Марк I».

«Марк I» был усовершенствованным арифмометром, который заменял труд примерно 20 операторов с обычными ручными устройствами. Однако из-за возможности программирования некоторые исследователи считают его первым реально работавшим компьютером.

На самом деле, за два года до этого немецкий изобретатель Конрад Цузе создал вычислительную машину Z3.

«Марк I» последовательно считывал и выполнял инструкции с перфорированной бумажной ленты. Компьютер не мог выполнять условные пере-

ходы, поэтому каждая программа представляла собой длинный рулон ленты. Циклы организовывались за счет замыкания начала и конца считываемой ленты, т.е. путем создания петель.

Главное отличие компьютера «Марк I» заключалось в том, что он был первой полностью автоматической вычислительной машиной, не требующей вмешательства человека в работу.

Первое поколение компьютеров.

В 1943 году Джон Преспер Эккерт и Джон Уильям Мокли начали разработку машины ENIAC (англ. Electronic numerical integrator and computer – электронный цифровой интегратор и калькулятор). В отличие от созданных в 1941 г. в Германии машины Z3 и в США компьютера «Марк I», использовавших механические реле, в ENIAC в качестве основы элементной базы применялись электронные лампы. Работа над ENIAC была закончена в 1946 г.

В 1944 году команда инженеров и ученых во главе с Джоном Преспером Эккертом и Джоном Уильямом Мокли начала работу над машиной EDVAC (англ. Electronic discrete variable automatic computer – электронная дискретная параметрическая машина) для Лаборатории баллистических исследований Армии США. В работе над машиной в качестве научного консультанта принимал активное участие Джон фон Нейман.

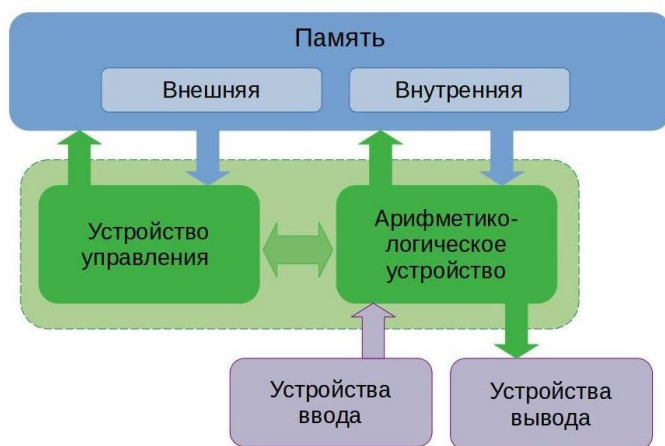
Компьютер EDVAC использовал двоичную систему счисления, в отличие от своего предшественника ENIAC, в котором использовалась десятичная система счисления.

EDVAC был поставлен Баллистической лаборатории в августе 1949 г. После устранения неисправностей компьютер окончательно заработал в 1951 г. и проработал до 1961 г.

В 1946 году Джон фон Нейман вместе с коллегами Германом Голдстайном и Артуром Берксом опубликовали статью «Предварительное рассмотрение логической конструкции электронного вычислительного устройства» в которой предложили принципы построения и функционирования вычислительных машин. В литературе эти принципы часто называют фон-неймановской архитектурой. Впоследствии на основе этих принципов производились первые два поколения компьютеров. В более поздних поколениях происходили некоторые изменения, хотя принципы Неймана актуальны и сегодня [9].

Обычно выделяют следующие наиболее важные идеи, предложенные Д. фон Нейманом:

- состав основных компонентов вычислительной машины: арифметико-логическое устройство, устройство управления, память, устройства ввода-вывода (рис. 7);
- принцип двоичного кодирования;
- принцип адресности памяти;
- принцип иерархической организации памяти;
- принцип хранимой программы;
- принцип программного управления.



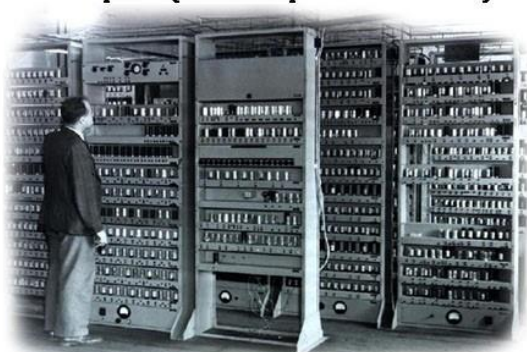
Джон фон Нейман

Рис. 7. Функциональная схема машины Джона фон Неймана

В 1949 году в Кембриджском университете (Великобритания) группой разработчиков во главе с Морисом Винсентом Уилксом (Maurice Vincent Wilkes) основываясь на работах Д. фон Неймана сконструировали машину EDSAC (англ. Electronic Delay Storage Automatic Calculator – электронный автоматический калькулятор с сохранением задержки). EDSAC – первый компьютер у которого программа хранилась в памяти. Созданием машины с хранимой в памяти программой было положено начало тому, что мы сегодня называем программированием (рис. 8).

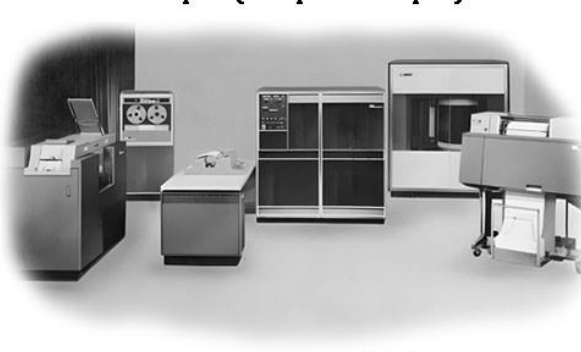
Поколения компьютеров

Первое (на электронных лампах)



EDSAC (1949 г.)

Второе (на транзисторах)



IBM 1401 (1959 г.)

Третье (на интегральных схемах)



IBM 360 (1964 г.)

Четвертое
(на больших и сверхбольших интегральных схемах)



IBM PC 5150 (1981 г.)



Рис. 8. Поколения компьютеров

Второе поколение компьютеров.

В 1949 году в США был создан первый полупроводниковый прибор, заменяющий электронную лампу – транзистор.

В 1960-х годах транзисторы стали элементной базой для компьютеров второго поколения. Машины стали компактнее, надежнее, менее энергоемкими. Возросло быстродействие и объем внутренней памяти. Большое развитие получили устройства внешней памяти: магнитные барабаны, накопители на магнитных лентах (рис. 8). Зафиксировано появление дисплея.

Третье поколение компьютеров.

В 1959 году был разработан метод, который позволил создавать на одной пластине несколько транзисторов и соединять их между собой. Схемы, полученные таким образом, стали называться *интегральными схемами*.

Компьютеры на основе интегральных схем были компактнее, быстрее и дешевле своих предшественников на транзисторах.

Производство компьютеров третьего поколения началось во второй половине 1960-х гг. В это время американская компания IBM начала выпуск машин системы IBM-360 (см. рис. 8), а немного позже – IBM-370.

На машинах третьего поколения появился новый тип внешних запоминающих устройств – магнитные диски.

Четвертое поколение компьютеров.

Успехи в развитии электроники привели к созданию *больших интегральных схем* (БИС), где на одном кристалле размещалось несколько десятков тысяч электрических элементов.

В ноябре 1971 г. компания Intel выпустила первый в мире коммерческий микропроцессор Intel 4004. Это был первый полный центральный процессор на одном чипе и стал первым коммерчески доступным *микропроцессором*. Это разработка способствовала появлению компьютерных платформ четвертого поколения.

В 1980-х гг. благодаря появлению *сверхбольших интегральных схем* (СБИС) стало возможным размещать на одной плате десятки тысяч, затем сотни тысяч и, наконец, миллионы транзисторов. Это привело к созданию более компактных и мощных компьютеров.

К этому времени цены на компьютеры стали настолько низкими, что их могли позволить себе не только организации, но и отдельные люди. Началась эпоха персональных компьютеров (ПК).

Появление ПК связано с именами двух американских изобретателей: Стива Джобса и Стива Возняка, которые в 1976 г. создали свой первый серийный ПК Apple-1, а в 1977 г. – Apple-2.

Однако с 1980 гг. на рынке ПК лидером становится американская компания IBM. Предложенная ей архитектура IBM PC (англ. Personal Computer) стала международным стандартом для ПК. Появление ПК по своему значению для развития общества можно сравнить с изобретением книгопечатания (см. рис. 8).



Рис. 9. Сравнение элементной базы компьютеров

С развитием этого типа компьютеров появилось понятие «информационные технологии», которые стали неотъемлемой частью большинства сфер человеческой деятельности. Также появилась новая научная дисциплина – информатика.

На рисунке 9 представлено сравнение элементной базы компьютеров различных поколений.

Пятое поколение компьютеров.

Термин «пятое поколение компьютеров» является спорным. Считается, что пока его не существует – для создания новейших компьютеров необходимо появление принципиально иной элементной базы.

В 1980-х годах в Японии начали проект компьютера пятого поколения. Предполагалось, что он будет базироваться на параллельных вычислениях, многопроцессорности и микропроцессоров, будет выполнять не только элементарные арифметические и булевские (логические) операции, но и операции логического вывода.

В результате реализации проекта был создан достаточно громоздкий и дорогой символьный процессор, программно реализующий Prolog-подобный язык. Он не получил широкого признания.

Тем не менее, появление параллельных вычислений можно считать большим прогрессом в эволюции вычислительной техники.

2.2. ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Первые компьютеры (их называли *мэйнфрейм* от англ. mainframe – основной блок) были очень большими (мог занимать целый этаж) и дорогими. В 1950-х годах на таких компьютерах для работы пользователей использовался *режим пакетной обработки* (рис. 10).

При пакетной обработке, если пользователь хотел выполнить расчеты на компьютере, ему нужно было подготовить специальную перфокарту. На этой карте содержались команды программы и все необходимые данные для выполнения вычислений. Затем перфокарту следовало передать в вычислительный центр.



Рис. 10. Режим пакетной обработки

Сотрудник, отвечающий за работу мейнфрейма, собирал задания от разных пользователей в единый пакет и вводил его в компьютер. Система обрабатывала задания в многопрограммном режиме, что позволяло эффективно распределять ресурсы процессора и устройств ввода-вывода между различными задачами, обеспечивая высокую скорость и качество вычислений.

Результаты расчетов обычно печатались на следующий день. Таким образом, даже одна ошибка в перфокарте могла стать причиной задержки на сутки.

Пакетный режим был не удобен для пользователей, но в то время он был самый эффективный, так как позволял процессору выполнить в единицу времени максимальное количество задач.

По мере развития электроники (появление транзисторов) процессоры стали мощнее и дешевле, что в начале 1960-х гг. привело к появлению новых способов организации вычислительного процесса, которые позволили учесть интересы пользователей. Начали развиваться интерактивные *многотерминальные системы разделения времени* (рис. 11).

Система разделения времени заключалась в том, что к компьютеру подключалось несколько терминалов (монитор с клавиатурой), обеспечивающих работу пользователей с ним в диалоговом режиме. Компьютер по очереди выделял определенное время (несколько миллисекунд) для выполнения задач с каждого терминала.

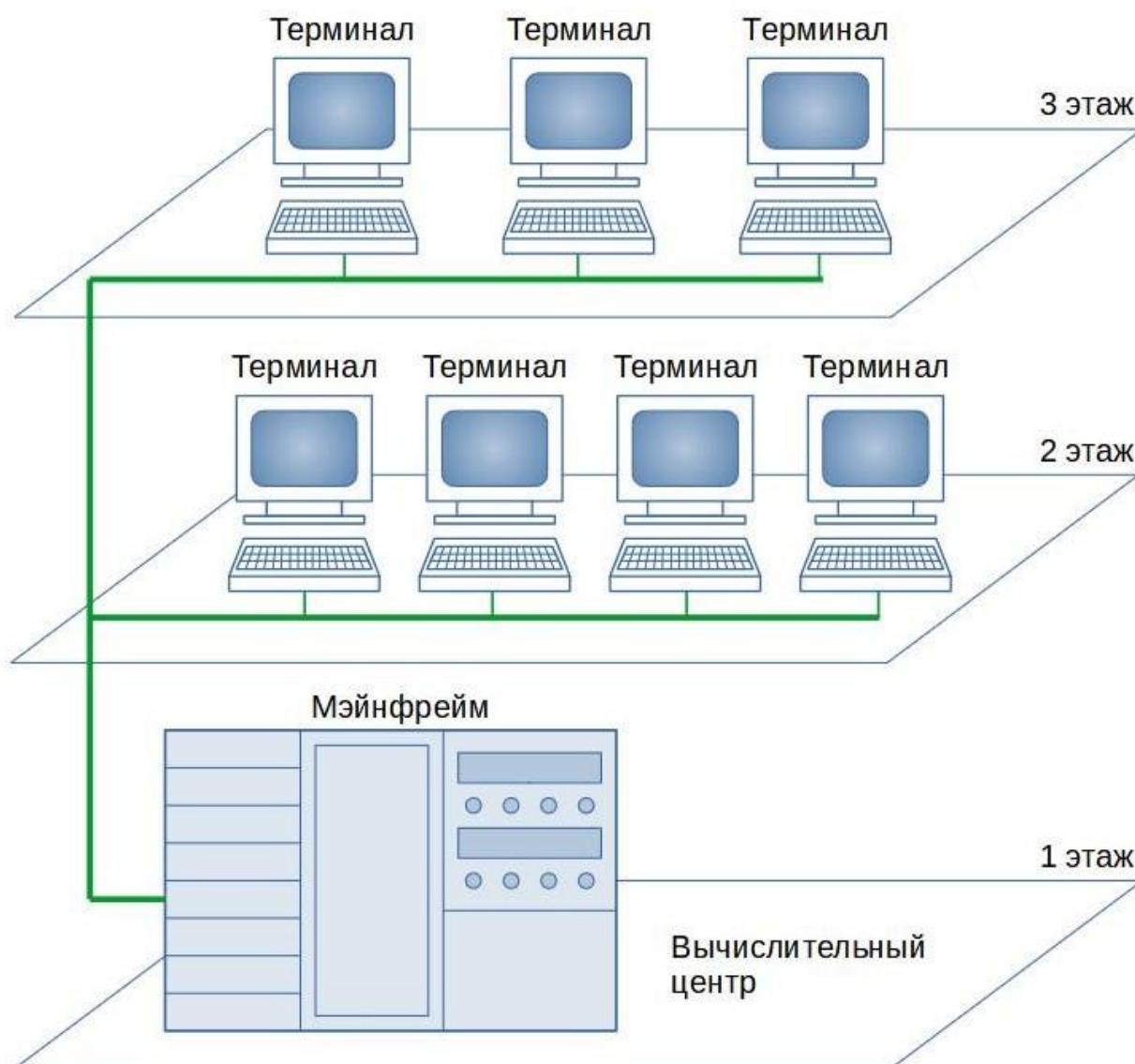


Рис. 11. Многотерминальная система разделения времени

Использование такого подхода позволило вынести терминалы за пределы вычислительного центра, сохранив централизованное управление ресурсами. Функции ввода и вывода данных распределялись и выполнялись на терминале. Через терминал пользователь мог получить доступ к общим файлам и периферийным устройствам, запустить программу и сразу же увидеть результат.

Таким образом, многотерминальные системы, работающие в режиме разделения времени, стали первым шагом на пути к созданию локальных вычислительных сетей.

К началу 1960-х гг. стало ясно, что необходимо объединить компьютеры, которые находятся на большом расстоянии. Уже существовала технология, позволяющая подключить терминал к удаленному компьютеру с помощью телефонных линий и модемов. Эти сети дали возможность удаленного доступа к общим ресурсам мощных вычислительных машин.

В дальнейшем были созданы системы, которые, помимо удаленных соединений типа «терминал-компьютер», обеспечивали также связь между компьютерами. Это открыло возможность для автоматического обмена данными, став основой любой вычислительной сети. Благодаря этому механизму в первых сетях появились функции, такие как обмен файлами и электронная почта, которые являются привычными современным пользователям.

Таким образом, глобальные вычислительные сети появились хронологически первыми. Именно при их создании были предложены и отработаны многие ключевые идеи и концепции современных вычислительных сетей [12].

В основе работы первых компьютерных сетей лежали принципы, во многом унаследованные от более ранних телефонных сетей. Одним из ключевых технологических нововведений, которое появилось благодаря первым глобальным компьютерным сетям, стало использование коммутации пакетов вместо коммутации каналов, которая ранее применялась в телефонных сетях.

Во время разговора в телефонных сетях пользователь получает канал, по которому информация передается с постоянной скоростью. В компьютерных сетях данные передаются в виде пульсирующего потока, с чередованием периодов активного обмена и длительных промежутков бездействия.

В ходе экспериментов было установлено, что для эффективной передачи данных в компьютерных сетях лучше всего применять технологию коммутации пакетов. Этот метод подразумевает разделение информации на небольшие фрагменты, которые могут перемещаться по сети независимо друг от друга. Каждый фрагмент содержит адрес конечного узла, к которому он должен быть доставлен, и этот адрес указан в заголовке пакета.

Из-за высокой стоимости создания надежных каналов связи на дальние расстояния, в первых глобальных компьютерных сетях часто использовали уже существующие линии, такие как телефонные. Однако скорость передачи данных по этим линиям была невысокой, что ограничивало возможности предоставляемых услуг (в основном это были передача файлов и электронная почта).

Помимо того, что такие линии работали медленно, они также вносили серьезные помехи в передаваемые сигналы. Это требовало от протоколов глобальных сетей использования сложных методов проверки и восстановления данных.

В 1961 году Агентство по перспективным оборонным научно-исследовательским разработкам США (англ. Defense advanced research projects agency, DARPA) по заданию министерства обороны США приступило к проекту по созданию экспериментальной компьютерной сети передачи пакетов. Этот проект, получивший название ARPAnet, стал отправной точкой для создания первой и самой известной ныне глобальной компьютерной сети – Internet.

В начале в сети ARPAnet обмен данными мог осуществляться только между компьютерными системами одного типа. С расширением сети и появлением различных операционных систем (ОС) возникла необходимость поиска новых способов организации связи между всеми компьютерами, входящих в сеть.

В связи с этим в 1973 г. возник проект «Internetting Project» (Проект объединения сетей), призванный обеспечить коммуникацию компьютерных систем разного типа. Результатом данного проекта стали межсетевой протокол (англ. internet protocol, IP) и протокол управления передачей (англ. transmission control protocol, TCP).

Технологический прорыв в области электроники (появление в 1960-х гг. интегральных схем, в 1970-х гг. больших интегральных схем, в 1980-х гг. сверхбольших интегральных схем) обеспечил создание сначала миникомпьютеров, а затем ПК, которые имели сравнительно невысокую стоимость и высокие функциональными возможностями. Это позволило сделать компьютерные технологии доступными для многих компаний и организаций. Несколько миникомпьютеров по своей производительности были быстрее одного мэйнфрейма, а их стоимость меньше.

С появлением ПК даже небольшие подразделения смогли получить в свое распоряжение вычислительные устройства. Эти компактные компьютеры стали применяться для выполнения разнообразных задач, например, таких как контроль за функционированием производственного оборудования и управление складскими операциями. При этом они продолжали функционировать автономно.

С развитием технологий пользователи компьютеров начали испытывать потребность в большем, чем просто использование собственных устройств. Им стало необходимо обмениваться информацией с другими компьютерами. На предприятиях и в организациях начали объединять миникомпьютеры (позже – персональные компьютеры) и разрабатывать программное обеспечение (ПО), которое позволяло им взаимодействовать друг с другом. Так появились первые локальные вычислительные сети (ЛВС).

На заре развития компьютерных сетей для их объединения использовались разнообразные нестандартные устройства, обладавшие специфическими характеристиками в области передачи данных, типами кабелей и прочими особенностями. Эти устройства были предназначены исключительно для использования с определенными типами компьютеров, для которых они разрабатывались [12].

В середине 1980-х гг. стали появляться стандартные технологии объединения компьютеров в сеть (например, Ethernet, ARCnet, Token Ring, Fiber Distributed Data Interface), что значительно облегчило создание ЛВС.

В основе функционирования всех технологий локальных вычислительных сетей (ЛВС) лежит принцип коммутации пакетов, который был изначально разработан для передачи данных в глобальных компьютерных сетях.

Внедрение стандартных сетевых технологий существенно облегчило процесс создания ЛВС. Теперь для организации сети достаточно приобрести стандартные кабели с разъемами, сетевое оборудование, соответствующее установленным стандартам (например, концентратор или коммутатор, сетевые адаптеры), подключить адаптеры к компьютерам, соединить их с помощью кабеля с концентратором или коммутатором и установить на компьютеры операционные системы, предназначенные для работы в сети.

В конце 1980-х гг. отличия между локальными и глобальными сетями были весьма отчетливы.

1) Протяженность и качество линий связи. Локальные сети отличаются от глобальных тем, что расстояние между их узлами значительно меньше. Это позволяет применять в них более качественные и, следовательно, более дорогие линии связи. В то время как в глобальных сетях того периода преобладали телефонные линии, которые не могли обеспечить высокую скорость передачи данных.

2) Сложность методов передачи данных. В глобальных сетях, где физические каналы могут быть нестабильными, необходимо использовать более сложные методы передачи данных, чем в локальных сетях. Это требует применения специального оборудования.

3) Скорость обмена данными в локальных сетях (10, 16 и 100 Мбит/с) в то время была существенно выше, чем в глобальных (от 2,4 Кбит/с до 2 Мбит/с).

4) Разнообразие услуг. Благодаря высокой скорости передачи данных в ЛВС появилась возможность предоставлять разнообразные услуги. Например, пользователи могут совместно использовать файлы, хранящиеся на дисках других компьютеров в сети, и периферийные устройства. В свою очередь, глобальные сети ранее ограничивались только услугами электронной почты и файлового обмена, которые были доступны в их базовом виде и не всегда были удобны для пользователей.

Различия между локальными и глобальными сетевыми технологиями со временем стали стираться. Ранее обособленные локальные сети теперь интегрируются друг с другом, используя глобальные сети в качестве связующего звена. Это привело к тому, что технологии, применяемые в локальных и глобальных сетях, активно взаимодействуют между собой.

Использование оптоволоконного кабеля в глобальных сетях обеспечило высокую надежность передачи данных, что привело к изменению требований к протоколам глобальных компьютерных сетей. В настоящее время акцент сместился с обеспечения надежности на предоставление пользовате-

лям гарантированной высокой скорости передачи данных. Кроме того, особое внимание уделяется приоритетной обработке пакетов трафика, который особенно чувствителен к задержкам, например, голосового.

Значительную роль в интеграции локальных и глобальных сетей сыграло преобладание протокола IP. Этот протокол способен функционировать поверх любых технологий, используемых в локальных и глобальных сетях, объединяя различные подсети в единую комплексную сеть.

С 1990-х годов компьютерные глобальные сети, функционирующие на основе высокоскоростных цифровых каналов связи, претерпели значительные изменения, существенно расширив спектр предоставляемых услуг и достигнув уровня, сопоставимого с локальными сетями. Это позволило создавать сервисы, способные обеспечивать быструю передачу больших объемов информации пользователю в режиме реального времени, включая изображения, видео- и аудиофайлы. Одним из ярких примеров таких сервисов является «Всемирная паутина» (англ. World Wide Web, WWW).

Начиная с 1980-х гг., ведется работа над разработкой универсальной сети, которая могла бы предоставлять услуги как в сфере информационных технологий, так и в области телекоммуникаций, включая радиосети, телефонные и телевизионные сети.

В настоящее время Internet перестал быть просто сетью для передачи данных и стал настоящей мультисервисной платформой. Он предлагает широкий спектр телекоммуникационных услуг, включая мгновенные сообщения, видео- и аудиоконференции, IP-телефонию, IP-телевидение, а также услуги многочисленных социальных сетей.

3. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СЕТИ

3.1. КОМПОНЕНТЫ И НАЗНАЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Вычислительная сеть – совокупность ЭВМ и терминалов, соединенных с помощью каналов связи в единую систему, удовлетворяющую требованиям распределенной обработки данных. Наряду с термином «вычислительная сеть», широкое распространение имеет термин «компьютерная сеть».

Компьютерная (информационно-вычислительная) сеть – система, состоящая из компьютеров и компьютерных устройств, которые взаимодействуют по единым правилам, определенным сетевыми протоколами [1]. Все устройства, которые подключены к сети, называются *узлами*.

Вычислительная сеть представляет собой комплекс взаимосвязанных и согласованно функционирующих программных и аппаратных компонентов. В их состав в общем случае включаются следующие компоненты (рис. 12):

- компьютеры и периферийные устройства (принтер, сканер, накопители на жестких магнитных дисках и др.);
- линии связи (кабельные, спутниковые, телефонные и др.);
- сетевое оборудование (сетевые адаптеры, мосты, коммутаторы, маршрутизаторы, концентраторы и т.д.);
- сетевые операционные системы (Windows фирмы Microsoft, macOS от Apple, Linux и т.д.);
- сетевые приложения (браузеры, мессенджеры, платформы для видеоконференцсвязи и т.д.).

Для взаимодействия компоненты должны иметь интерфейсы (внешние и внутренние), которые задают параметры, процедуры и характеристики взаимодействия объектов.

Интерфейс (англ. interface – средства, способ взаимодействия; от лат. inter – между и facies – лицо, поверхность) – способ и средства взаимодействия пользователя с программами или программ между собой, программ с аппаратными средствами или аппаратных средств между собой [1].



Рис. 12. Структура вычислительной сети

Так же интерфейсы разделяют на физические и логические:

- *физический интерфейс* (порт) определяется набором электрических связей и характеристиками сигналов;

- *логический интерфейс* (протокол) – это набор правил и сообщений определенного формата, определяющих процесс взаимодействия узлов сети.

Основным компонентом вычислительной сети являются компьютеры, которые можно разделить на две группы: серверы и рабочие станции.

Рабочая станция (англ. workstation) – комплекс аппаратных и программных средств, предназначенный для решения пользовательских задач и использующий сетевые ресурсы.

Сервер (англ. server – обслуживающий) – компьютер для обслуживания поступающих от других компьютеров запросов (например, посредством вычислительной сети), а также программа, обеспечивающая управление доступом к сетевым ресурсам [1].

Сервер может быть:

- *выделенным* – специализированный компьютер для выполнения сервисного программного обеспечения, т.е. выполняет только задачи управления сетью;

- *невыделенным* – параллельно с задачей управления сетью сервер выполняет обычные пользовательские программы, т.е. используется так же, как и рабочая станция.

В зависимости от выполняемых функций серверы могут быть:

- *файловые серверы* – предназначены для хранения файлов необходимых пользователям. В их число могут входить файлы, используемые совместно большим количеством пользователей;

- *серверы печати* – управляют сетевыми принтерами;

- *коммуникационные серверы* – предназначены для организации общения пользователей в сети с помощью специального программного обеспечения. Они поддерживают службы электронной почты, телеконференции и т.п.;

- *серверы приложений* – предназначены для размещения различных приложений (например, специализированных баз данных, прикладного программного обеспечения) для совместного использования;

- *серверы баз данных* – используются для обработки бизнес-транзакций и пользовательских запросов;

- *серверы резервного копирования* – применяются для резервного копирования информации в крупных многосерверных сетях;

- *web-серверы* – предназначены для размещения сайтов, обеспечивая к ним доступ пользователей сети Internet;

- *FTP-серверы* – являются хранилищем файлов, обеспечивая к ним доступ через сеть Internet;

- *DNS-серверы* – предназначены для преобразования буквенных адресов в цифровые и наоборот;

– *прокси-серверы* – обеспечивают подключение локальных сетей к сети Internet, осуществляя контроль и управление всеми соединениями с глобальной сетью и др.

Современные компьютеры позволяют объединять функции нескольких специализированных серверов в одном.

Компьютеры работают под управлением операционной системы.

Операционная система (ОС) – комплекс программ, обеспечивающий возможность удобного использования аппаратно-программных ресурсов компьютера прикладными программами и пользователем в соответствии с заданной политикой безопасности и разделения ресурсов; загружается обычно при включении компьютера [1].

Основными функциями ОС являются:

- управление каталогами и файлами;
- исполнение запросов программ (ввод и вывод данных, запуск и остановка других программ, выделение и освобождение дополнительной памяти и др.);
- загрузка программ в оперативную память и их выполнение;
- управление оперативной памятью (распределение между процессами, организация виртуальной памяти);
- защита от несанкционированного доступа;
- обеспечение отказоустойчивости;
- сохранение информации об ошибках системы;
- стандартизированный доступ к периферийным устройствам (устройства ввода-вывода);
- обеспечение пользовательского интерфейса.

Сетевая операционная система, помимо управления локальными ресурсами, предоставляет пользователям и приложениям возможность доступа к информационным и аппаратным ресурсам других узлов сети (рис. 13). Современные ОС практически все являются сетевыми.

Сетевые службы и транспортные средства могут быть как компонентами ОС (например, сетевая файловая служба), так и отдельными приложениями (например, веб-браузер), которые пользователь может дополнительно установить на свой компьютер.

Операционная система с клиентской частью сетевых служб называется *клиентской*, а с серверной – *серверной*. Клиентская ОС предназначена для обычных пользователей и отправки запросов к другим компьютерам в сети. Серверная ОС используется для обработки запросов от других компьютеров, при этом компьютер становится сервером. *Выделенный сервер* предназначен для обработки запросов, за ним обычно не работают обычные пользователи.

На компьютерах, подключенных к сети, могут выполнять приложения разных типов:

- *локальные* – выполняются на данном компьютере и используют только локальные ресурсы, им сетевые средства не требуются;



Рис. 13. Функциональные компоненты сетевой операционной системы

- *централизованные сетевые* – выполняются на данном компьютере, но в процессе своей работы обращаются к ресурсам других компьютеров сети, для их функционирования необходимы сетевые средства;

- *распределенные* – состоят из нескольких взаимодействующих частей, каждая из которых располагается на отдельном компьютере сети. Части распределенного приложения взаимодействуют друг с другом, используя сетевые средства ОС.

Назначение сетей.

Цель создания сети в значительной степени определяется потребностями пользователя. Сети могут применяться для решения как элементарных задач, таких как совместное использование периферийных устройств, так и для решения сложных задач, таких как, например, проведение совещания в режиме видеоконференции.

Все сети, большие и малые, создаются таким образом, чтобы ее пользователи могли совместно использовать сетевые ресурсы и обмениваться данными между собой. Сети позволяют:

- *выполнять параллельные вычисления* – использование в сети вычислительных мощностей нескольких компьютеров позволяет достичь более высокой производительности;

- *хранить и совместно использовать файлы* – сеть позволяет совместно использовать файлы данных как расположенные на компьютерах пользователей, так и на серверах;

- *совместно использовать аппаратные средства* – сеть позволяет совместно пользоваться локальными устройствами (например, сканер), либо получать доступ к устройствам, установленным на серверах (например, плоттер);

- *совместно использовать программное обеспечение* – использование в сети многопользовательских приложений обеспечивает одновременный доступ всех пользователей к общим информационным ресурсам;
- *обмен информацией между пользователями* – сеть дает возможность использовать такие средства общения, как электронная почта, мессенджеры, чаты, видеоконференции и т.д.;
- *обеспечение взаимодействия игровых клиентов* в многопользовательских играх.

3.2. КЛАССИФИКАЦИЯ СЕТЕЙ

Современные сети можно классифицировать по различным признакам, например, по территориальной удаленности узлов, способу коммутации данных, назначению и т.д. (рис. 14). Рассмотрим основные некоторые виды классификации сетей.

Сеть обычно находится в частном ведении пользователя и занимает некоторую территорию и по территориальному признаку разделяются на: персональные, локальные, глобальные и городские сети.

Персональные сети (англ. Personal Area Network, PAN) – это сеть, построенная «вокруг» одного человека. Она представляет собой компьютерную сеть, которая используется для передачи данных между различными устройствами, такими как настольный ПК, ноутбук, планшет, смартфон и периферийными устройствами. Персональные сети могут использоваться как для информационного взаимодействия отдельных устройств между собой, так и для соединения их с сетями более высокого уровня, например, глобальной сетью Internet.

Локальные сети (англ. Local Area Network, LAN) объединяют компьютеры и периферийные устройства, находящиеся на ограниченной территории.

Городские (муниципальные, мегаполиса) сети (англ. Metropolitan Area Networks, MAN) – предназначены для обслуживания территории крупного города. Они появились относительно недавно. Если локальные сети лучше всего подходят для разделения ресурсов на коротких расстояниях, а глобальные – на больших, то сети мегаполисов занимают промежуточное положение, связывая их между собой.

Глобальные сети (англ. Wide Area Network, WAN) – объединяют территориально рассредоточенные компьютеры и локальные сети, которые могут находиться в различных городах и странах. Доступ компьютеров из локальной сети в Internet происходит через сеть фирм-поставщиков услуг – *провайдеров*.

Внутри крупной организации можно выделить:

Сети отделов служат для взаимодействия небольшой группы сотрудников, которые решают общие задачи. Как правило, такие сети создаются для совместного использования локальных ресурсов, таких как программное обеспечение, файлы и принтеры.

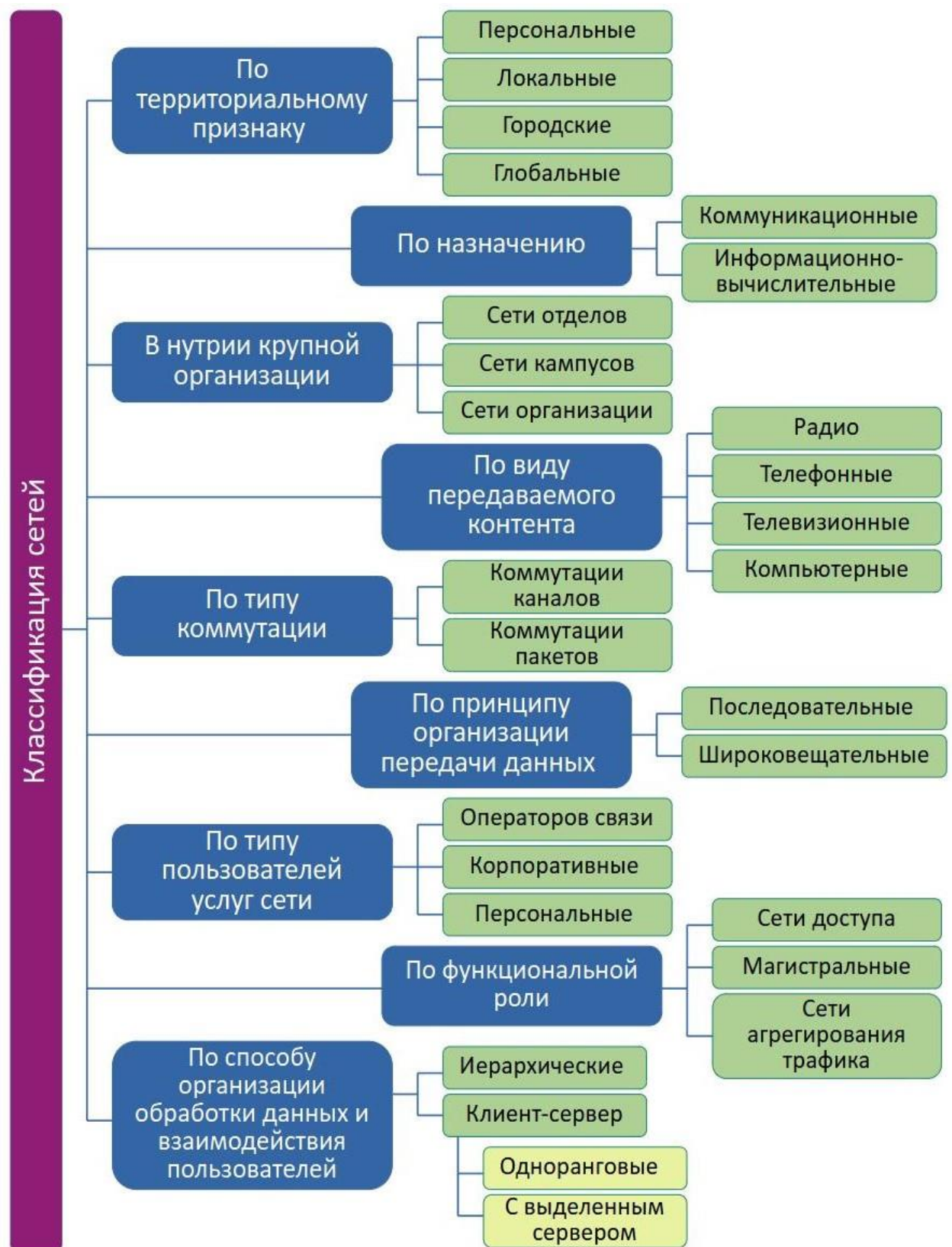


Рис. 14. Классификация сетей

Сети кампусов представляют собой объединение нескольких локальных сетей отделов, расположенных в пределах одного здания или на одной территории организации. Эти сети предназначены для эффективного обмена данными между отделами и обеспечения доступа к корпоративным базам

данных, частному облаку и другим дорогостоящим сетевым ресурсам предприятия. Глобальные соединения в сетях кампусов не используются

Сети организации (корпоративные) – это интегрированная информационная сеть, предназначенная для обмена данными, ресурсами и коммуникаций в пределах одного предприятия (корпорации). Они могут охватывать большие территории, вплоть до работы на нескольких континентах.

В зависимости от назначения сети можно разделить на коммуникационные и информационно-вычислительные (вычислительные) сети.

Коммуникационная сеть предназначена для передачи данных, также она выполняет задачи, связанные с преобразованием данных.

Информационно-вычислительная сеть предназначена для хранения, обработки и передачи данных и состоит из информационно-вычислительных систем. На базе коммуникационной сети может быть построена группа вычислительных сетей.

По виду передаваемого контента сети делятся на: радио; телефонные; телевизионные; компьютерные.

В зависимости от способа обработки данных и особенностей взаимодействия пользователей, можно выделить два основных типа систем: иерархические и клиент-серверные.

В *иерархических* сетях все операции по хранению и обработке данных осуществляются центральным компьютером, с которым пользователь взаимодействует через терминал.

В сетях *клиент-сервер* обработка данных происходит как на стороне клиента, так и на стороне сервера. Это позволяет снизить требования к производительности компьютеров по сравнению с иерархическими системами.

По организации взаимодействия, в свою очередь, принято выделять два типа систем, использующих модель «клиент–сервер»: одноранговые и с выделенным сервером.

Одноранговая сеть (англ. peer-to-peer) – это сеть, в которой нет общего центра управления взаимодействием рабочих станций и единого устройства хранения данных.

В одноранговой сети ресурсы рассредоточены по всем компьютерам, которые являются равноправными узлами. В таких сетях нет выделенного сервера, любой компьютер может выполнять одновременно функции сервера и рабочей станции.

Одноранговая сеть представляет собой простой и дешевый способ объединения небольшого количества компьютеров в тех случаях, когда необходимо организовать совместное использование их информационных ресурсов (файлов, принтеров и т.д.). Для ее создания достаточно, кроме сетевой карты и соединительных кабелей, установить операционную систему, поддерживающую одноранговые сети (например, Windows 10). При соединении компьютеров в одноранговую сеть пользователи могут предоставлять ресурсы и информацию в совместное пользование, используя службы удаленного доступа операционных систем.

К недостаткам одноранговой сети следует отнести то, что ее можно использовать только при небольшом количестве компьютеров (не более 10). Кроме того, в такой сети невозможна централизованная защита. Доступ к каждому ресурсу, используемому совместно, может быть защищен отдельным паролем. Если в сети имеется много общих ресурсов, то необходимо запоминать пароль для каждого. Такой тип защиты называется *защитой на уровне ресурсов* (англ. share-level security).

Сеть с выделенным сервером (англ. client/server network) – здесь один из компьютеров (сервер) выполняет функции хранения данных общего пользования и организации взаимодействия между рабочими станциями. На такой компьютер устанавливается специальная серверная ОС (например, Windows Server 2022, Astra Linux). В качестве сервера, как правило, используется более мощный компьютер (с более высокой частотой, объемом оперативной памяти и емкостью жесткого диска).

Сервер предоставляет доступ в сеть и обслуживает запросы пользователей к ее ресурсам, что значительно повышает защиту по сравнению с одноранговой сетью.

Доступ к ресурсам в сети с выделенным сервером гораздо проще, чем в одноранговой сети. Чтобы воспользоваться всеми доступными ресурсами, пользователю достаточно ввести всего лишь один логин и пароль.

Основным недостатком такой сети является сложность настройки и обслуживание сервера, как правило, этим занимается специальный человек – сетевой администратор.

По принципу организации передачи данных сети можно разделить на две группы: последовательные и широковещательные.

В *последовательных сетях* передача данных выполняется от одного узла к другому, и каждый узел ретранслирует принятые данные дальше. В *широковещательных сетях* в каждый момент времени передачу может вести только один узел, остальные узлы могут только принимать информацию [13].

По типу коммутации сети делятся на два вида: коммутации каналов и коммутации пакетов.

Коммутация – процесс соединения абонентов коммуникационной сети через транзитные узлы.

При *коммутации каналов* перед началом передачи данных требуется организовать соединение (канал) между узлами. Такой метод используется в телефонной связи [7].

При *коммутации пакетов* передаваемые данные делятся на некоторые части (пакеты), которые пересылаются независимо друг от друга. Каждый пакет имеет возможность проходить по сети своим путем. В технике коммутации пакетов допускается несколько вариаций, которые отличаются способом продвижения пакетов: дейтаграммные сети; сети, основанные на логических соединениях; сети, основанные на виртуальных каналах.

В зависимости от типа пользователей, которым предназначаются сетевые услуги, сети делятся на: сети операторов связи, корпоративные и персональные.

Сети операторов связи предоставляют публичные сетевые услуги, т.е. клиентом сети может стать любой индивидуальный пользователь или организация, заключившие соответствующий договор. К услугам операторов связи относятся: телефония, выход в Internet, веб-хостинг, электронная почта, IP-телефония, услуги виртуальных частных сетей и т.д.

Корпоративные сети предоставляют услуги только сотрудникам организации (корпорации), которая является владельцем этой сети.

Персональные сети предназначены для индивидуального использования. Они отличаются небольшим количеством узлов, простой структурой и ограниченной зоной действия. В качестве узлов в персональных сетях могут выступать не только настольные компьютеры, но и смартфоны, планшеты и ноутбуки. Часто персональные сети создаются на основе беспроводных технологий.

В зависимости от функций, которые выполняют некоторые компоненты сети, она может быть классифицирована как сеть доступа, магистральная сеть или сеть агрегирования трафика.

Сети доступа представляют собой неотъемлемый элемент телекоммуникационной инфраструктуры, обеспечивающий конечным пользователям, будь то частные лица или организации, возможность пользоваться услугами и сервисами оператора связи

Магистральные сети служат связующим звеном между различными сетями доступа, обеспечивая передачу данных по высокоскоростным линиям связи.

Сети агрегирования трафика объединяют несколько параллельных каналов передачи данных в один логический. Они создаются для обеспечения высокоскоростного канала связи и повышения отказоустойчивости. Сети агрегирования трафика обычно находят применение в глобальных сетях, где они выполняют функцию своеобразного моста между множеством сетей доступа и магистральной сетью. Их задача заключается в том, чтобы помочь магистральной сети обрабатывать большой объем трафика, поступающий от множества пользователей.

3.3. ТОПОЛОГИИ СЕТЕЙ

В сети все ее элементы – узлы (компьютеры, коммуникационное оборудование и т.п.) соединены между собой физическими или информационными связями по определенной структуре, называемой *топологией*. От выбора топологии зависят многие характеристики сети (производительность, работоспособность, надежность, стоимость и т.д.).

Топологическая структура сети делится на две основные категории: физическую и логическую.

Физическая топология – описание реального расположения узлов и связей между ними (как проложены кабели).

Логическая топология – описание поведения сигнала в сети, т.е. каким образом данные передаются между узлами сети.

Во многих случаях логическая топология не совпадает с физической, в том числе и потому, что она может динамически изменяться в соответствии с изменениями в конфигурации маршрутизаторов и коммутаторов.

Можно выделить следующие виды топологий (рис. 15):

- точка – точка (англ. point-to-point, P2P);
- полносвязная (полный граф, англ. fully-connected mesh);
- ячеистая (сетка, англ. mesh);
- шинная (общая шина, англ. bus);
- кольцевая (англ. ring);
- звездообразная (англ. star);
- древовидная (иерархическая);
- смешанная.

Сеть с топологией «точка – точка» – это простейший вид сети, в которой два узла соединены между напрямую через коммуникационное оборудование (см. рис. 15). Часто используется в случаях, когда необходимо быстро передать информацию с одного компьютера на другой, например, с ноутбука на настольный ПК.

В сети с *полносвязной топологией* все узлы связаны между собой (рис. 15). В таких сетях обеспечивается высокая пропускная способность, так как каждый узел имеет отдельное соединение, что позволяет одновременно передавать большой объем данных. Однако они являются дорогостоящими и сложными в установке и управлении, так как, во-первых, каждый узел должен иметь большое количество коммуникационных портов, чтобы обеспечить его связь со всеми остальными узлами сети, во-вторых, каждой паре узлов должна быть выделена отдельная линия связи. Поэтому полносвязная топология применяется очень редко, когда необходимо объединить небольшое количество компьютеров, например, в многомашинных комплексах.

В сетях с *ячеистой топологией* узлы соединяются с несколькими другими узлами и способны принимать на себя функций коммутатора для остальных участников, т.е. непосредственно связываются только те узлы, между которыми происходит интенсивный обмен данными, а обмен данными между не соединенными узлами осуществляется через промежуточные узлы (см. рис. 15). Ячеистая топология применяется в сочетании с другими топологиями при построении больших сетей.

В *шинной* топологии используется одна общая линия связи (шина), к которой подключаются все узлы сети (рис. 15). Линия связи используется всеми узлами сети, но в конкретный момент времени передавать данные может только один узел. Данные от передающего узла распространяются по линии связи в обе стороны и просматриваются всеми остальными узлами, подключенными к сети, а принимает их только тот узел, которому они адресованы. Перед началом отправки данных по сети узел должен вначале выяснить, не передает ли другой узел, и, если линия свободна, отправляет свои данные.

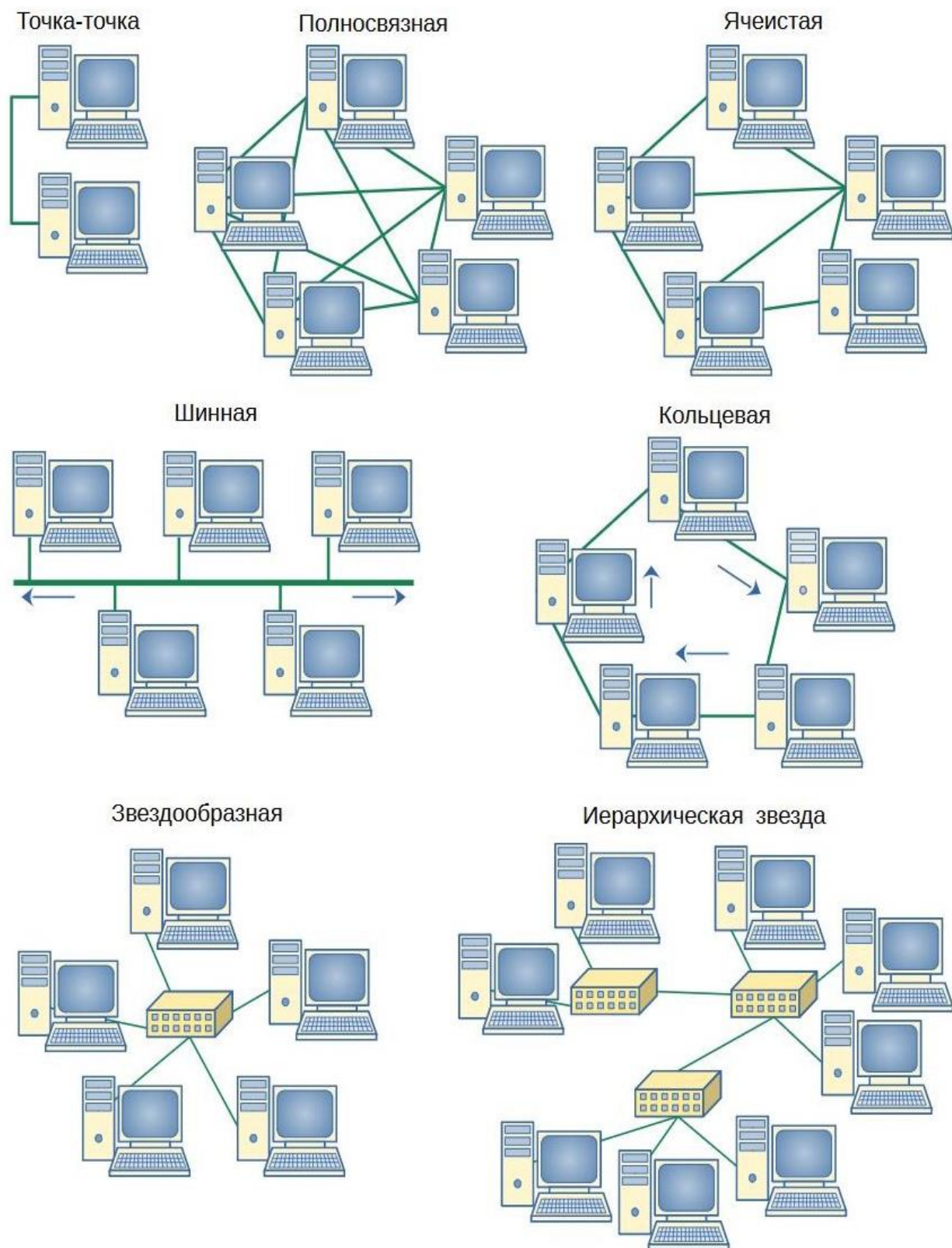


Рис. 15. Топологии сетей

Преимущества сетей с шинной топологией: простая, дешевая, легко наращивать, устойчива к неисправностям отдельных узлов, без прерывания работы всей сети можно подключать или отключать рабочие станции.

Недостатки таких сетей: низкая надежность, поиск неисправности затруднен, невысокая производительность.

При *кольцевой* топологии каждый узел сети соединен линией связи с двумя соседними узлами, образуя замкнутую линию (кольцо) (см. рис. 15). Данные передаются от одного узла к другому по линии связи в одном направлении. Если через узел проходят данные, адресованные ему, то он их принимает, иначе он передает их дальше [13].

В сетях с кольцевой топологией, чтобы передать данные, узел должен захватить *маркер* (определенная последовательность битов), который непрерывно циркулирует по сети. Продолжительность передачи данных зависит от количества рабочих станций в сети.

Преимущества сетей с кольцевой топологией: пересылка сообщений является очень эффективной, так как большинство сообщений можно отправлять по линии связи одно за другим; неисправности в кабельных соединениях легко локализуются.

Недостатки таких сетей: каждый узел участвует в пересылке информации, и в случае выхода из строя хотя бы одного из них, вся сеть парализуется; в случае подключения нового узла требуется выключение всей сети, так как во время установки кольцо должно быть разомкнуто.

Двойное кольцо – топология, построенная на двух кольцах: первое – основной путь для передачи данных, а второе – резервный путь, дублирующий основной (см. рис. 16). При нормальном функционировании данные передаются только по первому кольцу, а в случае неполадок в нем, оно объединяется со вторым, и сеть продолжает функционировать. Данные при этом по первому кольцу передаются в одном направлении, а по второму – в обратном.

При *звездообразной* топологии все узлы соединены отдельными линиями связи с центральным соединительным устройством, которое устанавливает, поддерживает и разрывает связи между узлами (см. рис. 15). Кроме того, соединительное устройство может выполнять фильтрацию информации, при необходимости блокируя запрещенную администратором информацию и управляя доступом к информационным ресурсам сети [7].

Производительность сети при данной топологии в первую очередь зависит от мощности центрального соединительного устройства.

Преимущества сетей со звездообразной топологией: высокая надежность, неполадки в отдельном узле или линии связи не влияют на работоспособность всей сети; высокая производительность, так как передача данных между рабочими станциями проходит через центральный узел по отдельным линиям связи; простое добавление новых узлов, не требующее прерывания работы всей сети.

Недостатки сетей со звездообразной топологией: большая загруженность центрального узла, неисправность которого выводит из строя всю сеть; большая протяженность линий связи, так как для каждого узла требуется своя линия связи; возможность по наращиванию количества узлов в сети ограничивается количеством портов центрального узла.

При нормальном функционировании сети

При неполадках сети

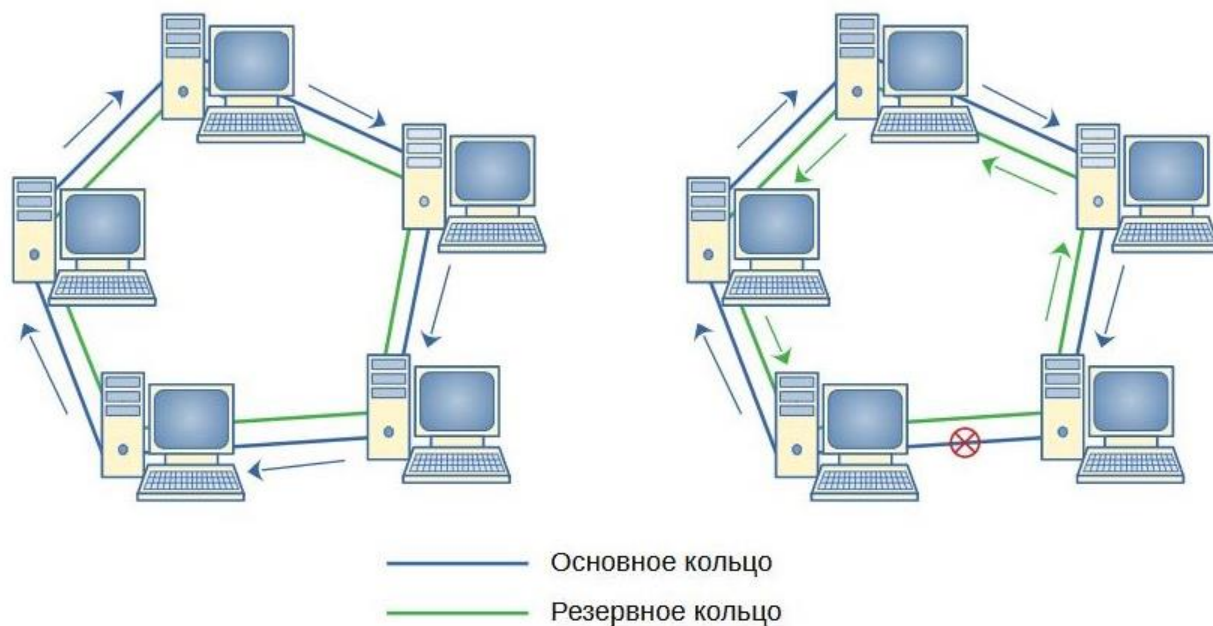


Рис. 16. Топология «двойное кольцо»

Проблема ограниченности количества портов центрального узла легко решается путем последовательного соединения соединительных устройств друг с другом, получаемая структура называется *иерархическая звезда* или *дерево* (см. рис. 15).

В настоящее время звездообразная топология является самым распространенным типом.

Звездообразная, кольцевая или шинная топологии относятся к типовым и используются для построения небольших (локальных) сетей. В крупных сетях можно выделить подсети, которые имеют одну из типовых, ячеистую или полносвязную топологий, такую топологию называют *смешанной*.

4. ЭТАЛОННАЯ МОДЕЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОТКРЫТЫХ СИСТЕМ

4.1. ДЕКОМПОЗИЦИЯ ЗАДАЧИ СЕТЕВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Организация взаимодействия устройств в сети – задача сложная и многогранная, требующая комплексного подхода. Для ее решения используется метод *декомпозиции*, который заключается в разделении сложной системы на более простые и понятные элементы.

В процессе декомпозиции важно четко обозначить функции каждого элемента, а также понять, как и в какой последовательности они взаимодействуют друг с другом и с внешней средой. Такой метод позволяет рассматривать каждый элемент как самостоятельную единицу («черный ящик»), не углубляясь в детали его внутренней организации, а сосредоточившись на взаимодействии элементов между собой.

При декомпозиции часто используется многоуровневый подход, который заключается в разбиении множества модулей на группы и упорядочивании их по уровням, образуя иерархию (рис. 17). Каждый уровень может взаимодействовать только с соседними уровнями, обращаясь к нижележащим уровням и получая результаты работы от вышележащих. Такая иерархическая декомпозиция предполагает четкое определение функций каждого уровня и взаимодействия между уровнями.

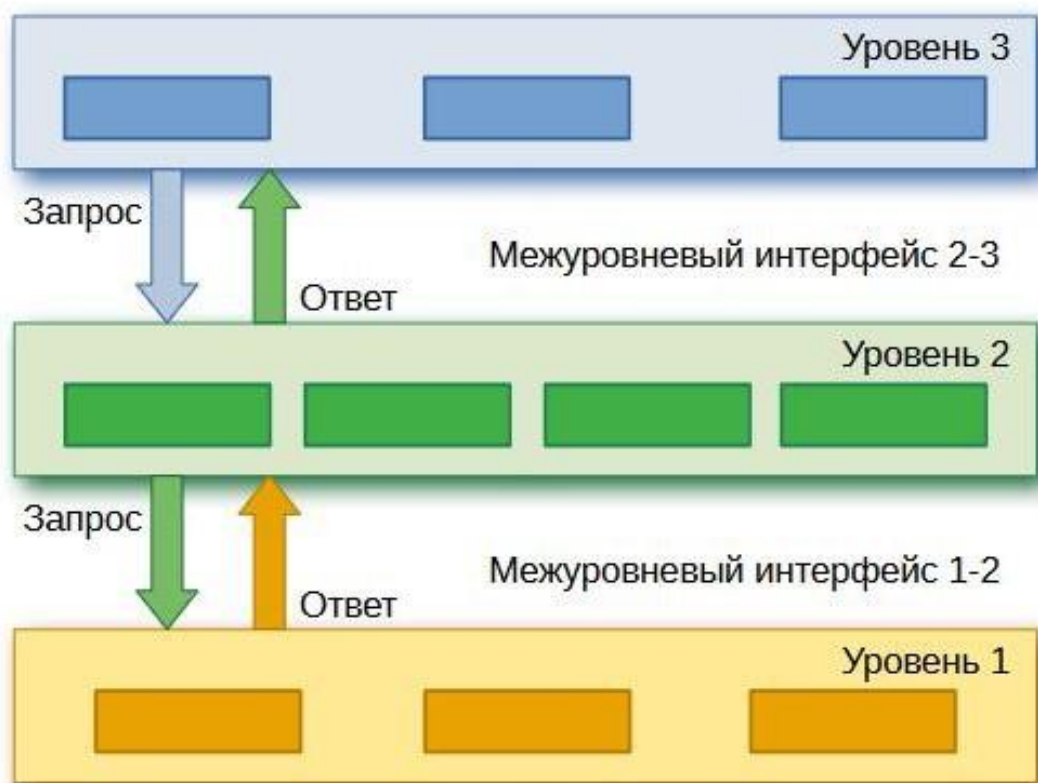


Рис. 17. Иерархическая декомпозиция

Интерфейс (от англ. interface – взаимодействие, сопряжение, от лат. inter – между и facies – лицо, поверхность) – совокупность средств, методов и правил взаимодействия между элементами системы (модулями) и внешним окружением. *Межуровневый интерфейс* (интерфейс услуг) определяет набор функций, которые нижележащий уровень предоставляет вышележащему.

Такой подход дает возможность проводить разработку, тестирование и модификацию отдельного уровня независимо от других уровней.

Задачи управления передачей и обработкой данных в сетях могут быть представлены в виде иерархически организованного множества подзадач, среди которых можно выделить такие как: выделение и освобождение ресурсов компьютеров и каналов связи; установление и разъединение соединений; маршрутизации, согласования, преобразования и передачи данных; контроль правильности передачи; исправление ошибок и т.д.

В начале 1980-х годов Международная организация по стандартизации (англ. International Standards Organization, ISO) начала работу над созданием модели сети, которая позволила бы поставщикам коммуникационного оборудования создавать взаимодействующие сети. Эта модель получила название *эталонная модель взаимодействия открытых систем* (англ. Open System Interconnection, OSI).

В 1984 году модель OSI была принята в качестве международного стандарта. При ее разработке использовался большой опыт, полученный при создании компьютерных сетей, в основном глобальных, в 1970-х гг. Полное описание этой модели занимает более 1000 страниц текста.

Первоначально модель OSI предназначена для обеспечения разработки протоколов, не зависящих от конкретных поставщиков оборудования, и для получения возможности создания наборов протоколов вместо монолитных программ сетевой связи, но в настоящее время она редко используется для таких целей. Но эта модель все еще имеет одно важное назначение: на данный момент она представляет собой одно из лучших инструментальных средств описания и классификации сложных последовательностей действий, которые происходят в сетях.

4.2. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОДЕЛИ OSI

Протокол – это совокупность правил и соглашений, определяющая процесс обмена информацией между различными программами внутри одного компьютера или на разных компьютерах в компьютерной сети [1]. Иерархически организованный набор протоколов, достаточный для организации взаимодействия узлов в сети, называется *стеком протоколов*.

К концу 1970-х годов в мире уже были компьютерные сети, разработанные разными фирмами и работающие с использованием различных стеков коммуникационных протоколов (например, DECnet от компании Digital Equipment Corporation, XNS (Xerox Network Services) фирмы Xerox, SNA (Systems Network Architecture) разработка компании IBM). Разнообразие

методов взаимодействия между сетями привело к возникновению проблемы несовместимости устройств, использующих различные протоколы. Для решения этой проблемы было решено создать единый набор протоколов, который будет общим для всех систем. Такой подход к разработке нового набора протоколов начался с создания модели OSI. Цель этой модели – предоставить общее представление о функциях средств сетевого взаимодействия, которое может служить универсальным языком для специалистов в этой области.

Модель OSI представляет собой теоретическую основу, которая определяет принципы и методы передачи данных в сетях с пакетной коммутацией. Эти принципы должны быть реализованы как в аппаратных, так и в программных компонентах сети, включая операционную систему и системные утилиты. Данная модель описывает только системные средства взаимодействия. Приложения конечных пользователей должны использовать свои собственные инструменты для взаимодействия, обращаясь к системным ресурсам [8].

В модели OSI все средства взаимодействия делятся на семь уровней, поэтому ее называют также *семиуровневой моделью* (см. рис. 18):

- 1) физический;
- 2) канальный;
- 3) сетевой;
- 4) транспортный;
- 5) сеансовый;
- 6) представительный;
- 7) прикладной.

Каждый уровень обеспечивает сервис для вышестоящего уровня (исключение прикладной, он предоставляет услуги прикладным процессам, лежащим за пределами модели OSI), запрашивая в свою очередь, сервис у нижестоящего уровня (исключение физический, обеспечивающий сопряжение с физической средой передачи данных) и имеет дело с одним определенным аспектом взаимодействия компонентов сети.

Правила, которые устанавливают формат и порядок передачи сообщений между элементами сети, находящимися на одном уровне, но в разных узлах, называются *протоколом*. В свою очередь, правила, определяющие, каким образом элементы разных уровней обмениваются данными в одной узле, именуются *интерфейсом*. Интерфейс устанавливает, какие функции доступны на данном уровне для соседних. Каждый уровень должен обладать собственным протоколом и обеспечивать взаимодействие с соседними уровнями (рис. 18).

При передаче данных по сети информация последовательно проходит через все уровни модели OSI на компьютере-отправителе, начиная с прикладного уровня. Затем она перемещается по физической среде до компьютера-получателя, где также последовательно проходит через все уровни, но в обратном порядке, начиная с физического.

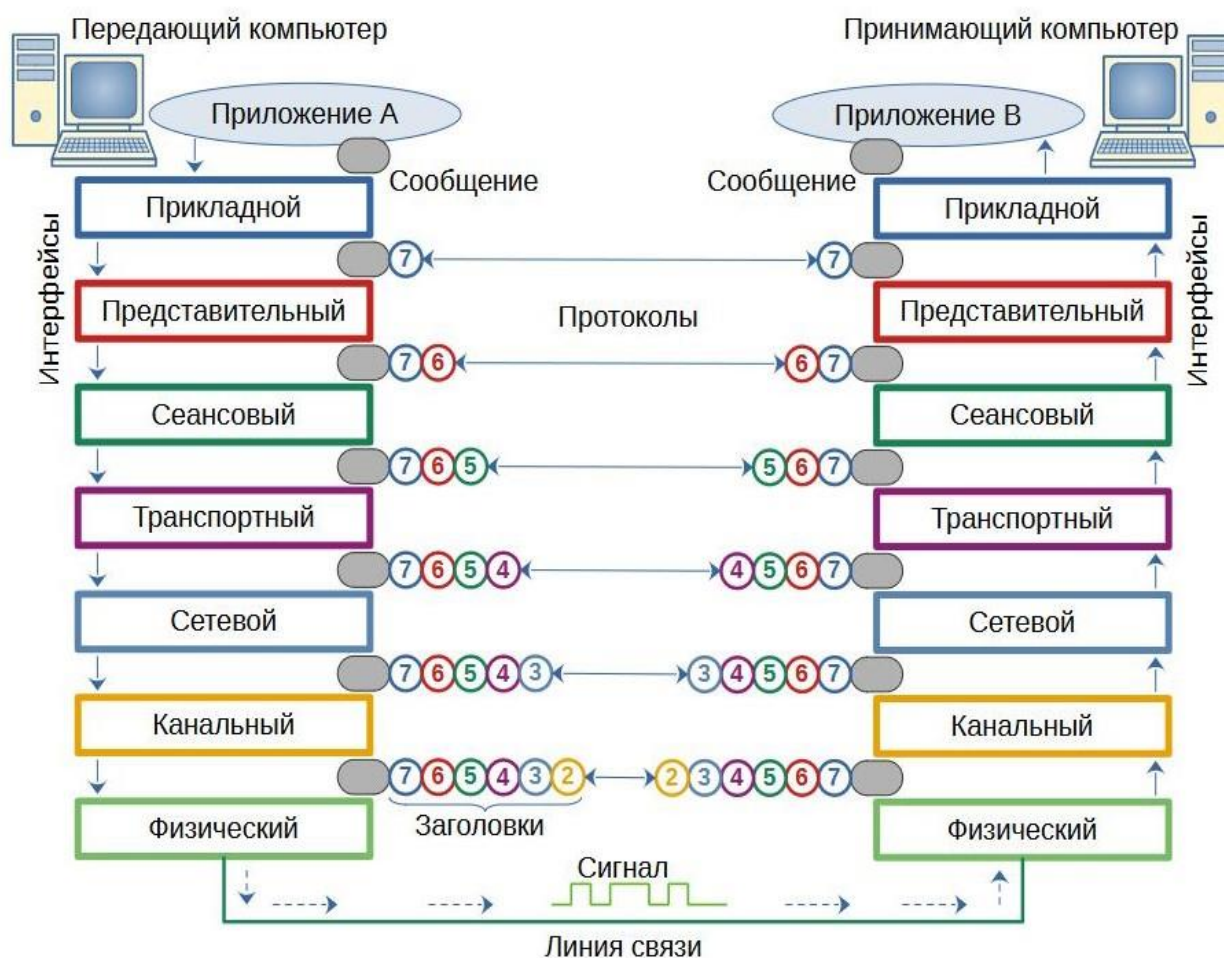


Рис. 18. Модель взаимодействия открытых систем (OSI)

В компьютерных сетях для передачи данные разбиваются на определенным образом оформленные блоки, называемые *пакетами*. При прохождении пакета через уровень к нему добавляется управляющая информация данного уровня – *заголовок* (некоторые протоколы также добавляют служебную информацию в конце – *концевик*). Заголовки и концевики обеспечивают принимающий компьютер сведениями о том, что делать с данными на каждом уровне модели OSI. Процесс перемещения данных сверху вниз по уровням модели OSI на передающем узле называется *инкапсуляцией*.

На принимающей стороне пакет данных проходит через все уровни модели OSI в обратном порядке. Каждый уровень обрабатывает пакет в соответствии с информацией, содержащейся в его заголовке (концевике), после чего удаляет ее и передает пакет следующему уровню. Когда пакет достигает верхнего уровня, вся управляющая информация удаляется из него, и данные возвращаются к своему первоначальному виду. Процесс перемещения данных снизу вверх по уровням модели OSI на принимающем узле называется *декапсуляцией*.

В сетях компьютеры, как правило, осуществляют связь не напрямую, а через различные коммуникационные устройства (концентратор, коммута-

тор, маршрутизатор и т.д.), в которых также реализуются протоколы. Протоколам передачи данных требуется следующая информация:

- синхронизация – механизм распознавания начала и окончания блока данных;
- инициализация – это установление соединения между взаимодействующими узлами;
- блокирование – разбиение передаваемой информации на блоки данных строго определенного размера;
- адресация – метод идентификации оборудования, позволяющий сетевым устройствам определить, куда отправить и кто будет принимать данные;
- обнаружение ошибок – это процесс, при котором в блоке данных добавляется дополнительная информация, позволяющая с определенной долей уверенности судить о корректности полученных данных;
- нумерация блоков – это текущая нумерация блоков, позволяющая установить ошибочно передаваемую или потерявшуюся информацию;
- управление потоком данных – служит для распределения и синхронизации информационных потоков;
- методы восстановления – это инструменты, которые применяются после остановки процесса передачи данных, чтобы вернуться к определенному состоянию и возобновить передачу информации;
- разрешение доступа – это распределение, контроль и управление ограничениями доступа к данным.

4.3. УРОВНИ МОДЕЛИ OSI

Рассмотрим, какие задачи решаются на каждом уровне модели OSI.

Физический уровень (1-й уровень, от англ. Physical Layer).

Физический уровень отвечает за отправку и прием сигналов в рамках физической среды передачи данных (кабели и радиоволны).

К главным функциям физического уровня относятся:

- кодирование – в зависимости от физической среды определяет способ передачи данных: медные кабели передают информацию с помощью электрических сигналов, оптоволоконные кабели с помощью световых сигналов, беспроводные с помощью радиоволн;
- модуляция и демодуляция – преобразование цифровых данных в аналоговые сигналы и обратно;
- определение электрических характеристик (напряжения, тока и частоты), используемых для передачи данных;
- определение механических характеристик (типа кабеля, разъемов и портов).

Функции физического уровня реализуются во всех устройствах, подключенных к сети. Со стороны компьютера их выполняет сетевой адаптер, а со стороны промежуточных сетевых устройств – коммутатор, концентратор, маршрутизатор и др.

Физический уровень обеспечивает базовую инфраструктуру для передачи данных. Его спецификации зависят от технологий (Ethernet, Bluetooth, Wi-Fi), работающих в рамках конкретной сети.

Канальный уровень (2-й уровень, от англ. Data Link Layer).

Канальный уровень отвечает за надежную передачу данных по физическим линиям связи, обеспечивает обнаружение и исправление ошибок, а также управление доступом к среде передачи.

Основными функциями канального уровня является [10]:

- формирование кадров – преобразование необработанных битов данных в структурированные *кадры* (англ. frame). Эти кадры включают синхронизирующие биты, адреса сетевого оборудования, контрольные суммы и собственные данные;
- контроль доступа к среде – разграничение доступа к общей среде передачи данных в целях предотвращения коллизий;
- обнаружение и исправление ошибок – обеспечение целостности данных в процессе их отправки, для чего применяются методы обнаружения (добавляют в кадр контрольную сумму) и исправления ошибок (автоматический запрос повторной передачи (англ. Automatic Repeat Request, ARQ));
- адресация – использование физического адреса (MAC-адреса) для идентификации устройств в локальной сети.

В канальном уровне выделяют два подуровня:

- контроль доступа к среде (англ. Media Access Control, MAC) – отвечает за управление доступом к физической среде передачи данных;
- контроль логической связи (англ. Logical Link Control, LLC) – отвечает за управление логическими соединениями, кадрами и контролем ошибок.

В локальных сетях протоколы канального уровня используются компьютерами, мостами, коммутаторами и маршрутизаторами. В компьютерах функции канального уровня реализуются совместными усилиями сетевых адаптеров и их драйверов.

Сетевой уровень (3-й уровень, от англ. Network Layer).

Сетевой уровень отвечает за маршрутизацию пакетов данных между различными сетями и внутри сети между узлами.

Сообщения сетевого уровня принято называть *пакетами*. Протоколы верхних уровней выдают запросы на передачу данных, а задача сетевого уровня состоит в практической реализации механизма этой передачи.

К основным функциям сетевого уровня относятся:

- маршрутизация – определение оптимального пути, по которому данные будут передаваться в рамках сети и между сетями. Критерием при выборе маршрута между сетями может быть скорость, пропускная способность, надежность и т.д.;
- логическая адресация – присвоение и управление уникальными логическими адресами (например, IP-адресами), используемые для идентификации внутри сети;

- фрагментация и сборка пакетов – разделение больших объемов данных на меньшие фрагменты (пакеты) для передачи, а после – сбор их обратно на стороне получателя, что позволяет эффективно передавать данные по различным сетям;

- выявление ошибок – использование методов выявления ошибок в передаваемых данных и уведомление транспортного уровня в случае их обнаружения.

Транспортный и сетевой уровни, хотя и выполняют различные функции, в некоторой степени имеют схожие задачи, связанные с управлением потоком информации и обнаружением ошибок. Это обусловлено тем, что существуют два подхода к организации связи, основанные на различных предположениях о надежности сети: с установлением соединения и без установления соединения.

В сетях с установлением соединения процесс обмена данными начинается с того, что отправитель и получатель устанавливают соединение. Затем данные передаются постепенно, по частям. При этом передающий узел не обязан завершать каждое сообщение указанием своего имени, имени вызываемого узла и его адреса, так как считается, что связь надежна, и сообщение будет доставлено без искажений. Ответственность за контроль ошибок и управление потоком данных в таких сетях лежит на сетевом уровне. После завершения диалога соединение разрывается.

В сетях, где не требуется предварительное установление соединения, отправитель передает данные, когда они готовы. В каждом пакете указывается адрес получателя. Ответственность за контроль ошибок и управление потоком данных лежит на транспортном уровне.

Протоколы сетевого уровня реализуются с помощью программных модулей операционной системы, а также с использованием программных и аппаратных средств маршрутизаторов.

В качестве примера протоколов, работающих на сетевом уровне, можно назвать IP (Internet Protocol) и ICMP (Internet Control Message Protocol).

Транспортный уровень (4-й уровень, от. англ. Transport Layer).

Транспортный уровень отвечает за управление потоком данных и обеспечение надежности и эффективности передачи данных в рамках сети.

Основными функциями транспортного уровня является:

- управление потоком – контроль скорости передачи данных и управление потоком, чтобы избежать перегрузок и потери информации;
- установка, управление и завершение соединений – поддержание установки и завершения соединений между узлами в сети;
- сегментация и сборка данных – разбивает поток данных от верхних уровней на небольшие блоки для передачи по сети, что обеспечивает эффективное использование ресурсов сети;
- мультиплексирование и демультиплексирование – позволяет мультиплексировать передаваемые сообщения и соединения. Мультиплексирование сообщений позволяет передавать сообщения одновременно по несколь-

ким линиям связи, а мультиплексирование соединений – передает в одной посылке несколько сообщений для различных соединений;

- обнаружение ошибок – блоки данных снабжаются контрольной суммой, которая позволяет обнаружить ошибки, возникшие при передаче данных;

- исправление ошибок – при обнаружении ошибки сегмент может быть повторно отправлен.

Транспортный протокол связывает нижние уровни (физический, канальный, сетевой) с верхними уровнями, которые реализуются программными средствами. Этот уровень как бы разделяет средства формирования данных в сети от средств их передачи.

Все протоколы, начиная с транспортного уровня и выше, реализуются программными средствами конечных узлов сети – компонентами их сетевых операционных систем. В качестве примера транспортных протоколов можно привести TCP (Transmission Control Protocol) и UDP (User Datagram Protocol) стека TCP/IP [8].

Сеансовый уровень (5-й уровень, от англ. Session Layer).

В задачи сеансового уровня входит управление соединениями (установление, поддержание и корректное завершение), синхронизация данных (правильный порядок передачи данных) и управление ресурсами (эффективное использование сетевых ресурсов) сеанса связи между двумя приложениями.

На сеансовом уровне определяется, какой будет передача между двумя прикладными процессами: полудуплексной (данные передаются и принимаются по очереди) или дуплексной (данные передаются и принимаются одновременно).

Службы сеансового уровня часто применяются в приложениях, требующих удаленного вызова, например, видеозвонок по сети. Во время видеосвязи необходимо, чтобы два потока данных (аудио и видео) шли синхронно.

Пример протокола, работающего на сеансовом уровне, – RPC (Remote Procedure Call).

Три верхних уровня модели OSI решают прикладные вопросы, а четыре нижних уровня занимаются транспортировкой данных.

Представительный уровень (6-й уровень, уровень представления данных, представительский, от англ. Presentation Layer).

Представительный уровень обеспечивает то, что данные, передаваемые компьютером-отправителем, будут понятны компьютеру-получателю.

Компьютеры, которые обмениваются данными в сети, могут использовать операционные системы, имеющие разные файловые системы, форматы хранения и обработки данных (например, Windows и Linux). На представительном уровне при передаче данных осуществляется их преобразование в промежуточный формат, а при приеме выполняется обратное преобразование, что позволяет организовать обмен данными между системами разного

типа. В качестве такого промежуточного формата в модели OSI используется специальный язык для описания абстрактного синтаксиса данных ASN.1 (англ. Abstract Syntax Notation One).

Для повышения эффективности передачи данных на представительном уровне может осуществляться компрессия (сжатие, упаковка) и декомпрессия (распаковка) данных.

Протоколы представительного уровня обычно являются составной частью протоколов трех верхних уровней модели.

Прикладной уровень (7-й уровень, уровень приложений, от англ. Application Layer).

Прикладной уровень – это самый верхний и наиболее близкий к пользователю уровень модели OSI. Поэтому он не оказывает услуг ни одному из других уровней модели, а предоставляет услуги прикладным процессам, лежащим за ее пределами.

На данном уровне пользовательским приложениям обеспечивается доступ к различным сетевым ресурсам, например, файлам, принтерам, базам данных, электронной почте и т.д. На нем выполняются вычислительные, информационно-поисковые работы, логические преобразования информации, передача почтовых сообщений и т.п. Одна из задач этого уровня – обеспечить удобный интерфейс для пользователя. Единицу данных, которой оперирует прикладной уровень, принято называть *сообщением*.

Как правило, услуги прикладного уровня включают идентификацию и аутентификацию участников сетевого взаимодействия, проверку их доступности и полномочий, определение требований к защищенности сеанса обмена и т.д.

В качестве примера прикладных протоколов можно привести HTTP (HyperText Transfer Protocol), HTTPS (Hypertext Transfer Protocol Secure), FTP (File Transfer Protocol), SMTP (Simple Mail Transfer Protocol).

4.4. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОТОКОЛОВ ПО ЭЛЕМЕНТАМ СЕТИ

Все уровни модели OSI можно условно разделить на две группы:

- уровни среды (англ. media layers) – занимаются передачей данных (по кабельным или беспроводным линиям связи). Они используются коммуникационным оборудованием (коммутаторы, маршрутизаторы и т.п.) и обеспечивают физическую и логическую связь между узлами сети;

- уровни хоста (англ. host layers) – функционируют непосредственно на конечных устройствах (стационарные компьютеры, мобильные устройства). Они обрабатывают данные и обеспечивают работу приложений.

Три нижних уровня – физический, канальный и сетевой – относятся к уровню среды и являются сетезависимыми, т.е. зависят от конкретной технической реализации сети.

Три верхних уровня – сеансовый, уровень представления и прикладной – ориентированы на работу с приложениями и мало зависят от технических особенностей построения сети.

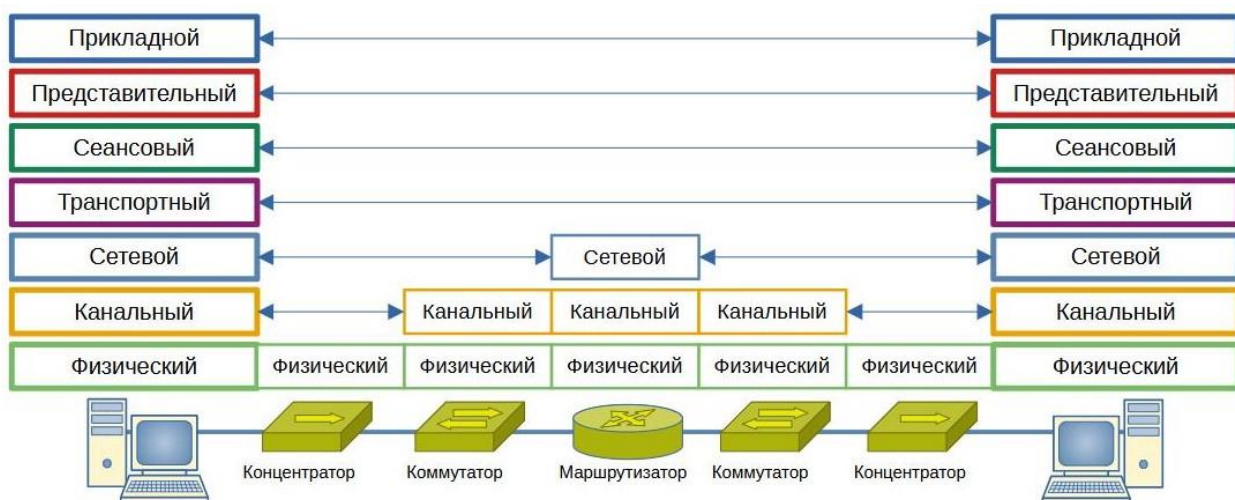


Рис. 19. Соответствие функций сетевых устройств уровням модели OSI

Транспортный уровень является связующим звеном между уровнем среды и уровнем хоста, хотя он ближе к уровню хоста. Он скрывает все детали функционирования нижних уровней от верхних, что позволяет разрабатывать приложения, не зависящие от технических средств, непосредственно занимающихся транспортировкой сообщений [12].

Протоколы нижних четырех уровней в общих чертах можно назвать транспортной подсистемой или сетевым транспортом, поскольку они полностью отвечают за передачу данных с заданным уровнем качества в составных сетях с любой топологией и различными технологиями.

Протоколы всех уровней реализуются исключительно на конечных узлах (компьютерах), а для работы коммуникационного оборудования (концентраторов, коммутаторов, маршрутизаторов и т.п.) достаточно функциональности нижних трех уровней (рис. 19). При этом некоторые устройства связи могут поддерживать только протоколы нижних двух уровней или даже одного физического уровня.

Например, повторители и концентраторы работают только на физическом уровне. Они повторяют сигналы, поступающие на одни их интерфейсы, на других своих интерфейсах, улучшая (восстанавливая) характеристики сигнала (мощность, амплитуду и т.п.).

Коммутаторы работают на двух нижних уровнях – физическом и канальном. Они обеспечивают взаимодействие узлов в пределах локальной сети.

Маршрутизаторы поддерживают протоколы всех трех нижних уровней – физического, канального и сетевого. Они обеспечивают передачу данных между узлами, принадлежащими различным подсетям составной сети.

Чтобы информация могла быть передана по сети от одной программы к другой, компьютеры должны поддерживать протоколы всех уровней. Протоколы прикладного уровня предоставляют программам набор сетевых сервисов через протоколы представительного и сеансового уровней. Эти про-

токолы формируют сетевой интерфейс прикладного программирования (англ. Application Programming Interface, API). Когда данные передаются через сеть, два компонента транспортного протокола, расположенные на узле-отправителе и узле-получателе, взаимодействуют между собой, чтобы обеспечить высокое качество транспортного сервиса. Сетевые устройства передают сообщения транспортного протокола, не анализируя их содержимое.

4.5. ЧЕТЫРЕХУРОВНЕВАЯ МОДЕЛЬ TCP/IP

За время существования компьютерных сетей были разработаны различные стеки коммуникационных протоколов, многие из которых в настоящее время уже не применяются на практике, например:

- TCP/IP – стек протоколов, разработанный по инициативе Министерства обороны США для экспериментальной сети ARPAnet, которая в дальнейшем переросла в глобальную компьютерную сеть Internet. Сегодня TCP/IP является общепринятым стеком не только для глобальной сети Internet, но и для локальных сетей;

- IPX/SPX – стек протоколов, разработанный фирмой Novell в начале 1980-х гг. для своей сетевой операционной системы NetWare. К началу 2000-х годов был вытеснен TCP/IP. Стек IPX/SPX никогда не применялся в глобальных сетях;

- NetBIOS (англ. Network Basic Input/Output System) был разработан фирмой IBM в начале 1980-х гг. и представляет собой набор сетевых протоколов, который облегчает связь между ПК в локальной сети. В дальнейшем он был заменен NetBEUI (англ. NetBIOS Extended User Interface, протокол расширенного пользовательского интерфейса). В современных сетях NetBEUI вытеснен TCP/IP, и в последних версиях операционных систем Windows его поддержка прекращена;

- SMB (англ. Server Message Block, блок серверных сообщений) – это сетевой протокол прикладного уровня для удаленного доступа к файлам, принтерам и другим сетевым ресурсам. Компания Microsoft продолжает разрабатывать SMB (SMB 3.1.1 был представлен с Windows 10 и Windows Server 2016);

- DECnet – семейство сетевых протоколов для высокоскоростного обмена данными, первоначально разработанный фирмой Digital Equipment Corporation в 1975 г. Это дало начало развитию одной из первых архитектур одноранговых сетей. Изначально была разработана трехуровневая модель сети, а к 1982 г. развилась в семиуровневую модель OSI-совместимый сетевой протокол (DECnet/OSI). Позднее был переименован в DECnet-Plus и включен в стек TCP/IP;

- SNA (анг. Systems Network Architecture, системная сетевая архитектура) – разработанное компанией IBM в 1974 г. общее описание модели построения сетей мэйнфреймов IBM. SNA была одной из первых коммуникационных архитектур на базе многоуровневой модели и послужила

прототипом при создании эталонной модели OSI. С ростом популярности TCP/IP SNA превращается из сетевой архитектуры в архитектуру приложений и доступа к ним (SNA/IP – «SNA поверх IP»), т.е. использование IP в качестве протокола для подключения компьютеров SNA;

- ATM (англ. Asynchronous Transfer Mode, асинхронный способ передачи данных) – сетевая высокопроизводительная технология коммутации и мультиплексирования пакетов, разработанная в конце 1980-х гг. В начале 1990-х годов технологии ATM в мире начинают уделять повышенное внимание, однако в конце 1990-х гг. появляется технология Gigabit Ethernet, которая становится для нее конкурентом. Это приводит к тому, что уже к началу 2010-х гг. разработка спецификаций ATM полностью остановлена.

Более подробно рассмотрим стек протокол TCP/IP.

Протоколы стека TCP/IP начали разрабатываться в 1973 г. когда в рамках работ по экспериментальной сети ARPAnet (родоначальник сети Internet) возник проект «Internetting Project», призванный обеспечить коммуникацию компьютерных систем разного типа. Результатом данного проекта стали межсетевой протокол (IP) и протокол управления передачей (TCP). С 1983 года TCP/IP стал официально признанным стандартом для сети ARPAnet (в дальнейшем Internet) [8].

Поддержка TCP/IP со стороны разработчиков операционных систем (например, Windows, UNIX) и коммуникационного оборудования заложили основу для широкого их внедрения. Сегодня стек TCP/IP используется не только для коммуникации разнообразных устройств в глобальной сети Internet, но и в локальных сетях.

Модель OSI – это теоретическая модель, которая хорошо описывает, как сетевые устройства должны взаимодействовать друг с другом. Но на практике, разрабатывая сетевые протоколы, часто, вместо семиуровневой модели OSI используют другую модель сетевых взаимодействий – TCP/IP.

Модель TCP/IP также является многоуровневой сетевой моделью, но состоит из четырех уровней (рис. 20):

- *канальный уровень* (уровень доступа к сети, сетевых интерфейсов, англ. Network Access Layer) – отвечает за физическое соединение между устройствами в локальной сети через разнообразные среды передачи информации (провода, радиоволны). Также в функционал этого уровня входит обнаружение и исправление ошибок, возникших при передаче данных;

- *сетевой уровень* (межсетевой, уровень сети Интернет, англ. Internet Layer) – занимается адресацией и маршрутизацией информации между сетями;

- *транспортный уровень* (англ. Transport Layer) – отвечает за передачу данных между устройствами в сети, обеспечивая контроль доставки пакетов данных без дублирования и за повторный запрос информации при обнаружении ошибок;

- *прикладной уровень* (англ. Application Layer) – предназначен для реализации сетевых функций в программных решениях.

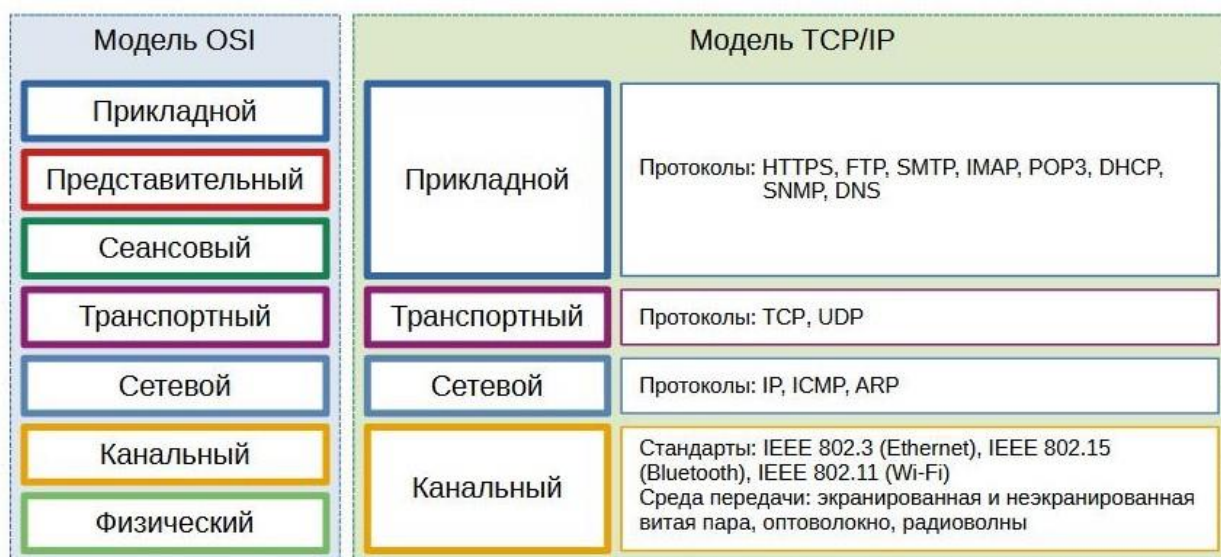


Рис. 20. Соответствие моделей OSI и TCP/IP

К основным протоколам стека TCP/IP относятся:

- 1) на канальном уровне:
 - Ethernet-технология построения локальных проводных сетей;
 - Wi-Fi-технология беспроводного подключения устройств к сети Internet;
 - Bluetooth-технология беспроводной связи, которая основана на использовании ультракоротких радиоволн;
- 2) на сетевом уровне:
 - IP (англ. Internet Protocol, межсетевой протокол) – основной сетевой протокол, который используется для передачи данных по сети Internet. Он отвечает за адресацию и разбиение данных на пакеты для удобной отправки;
 - ICMP (англ. Internet Control Management Protocol, протокол межсетевых управляющих сообщений) – используется для передачи сообщений об ошибках и других исключительных ситуациях, возникших при передаче данных;
 - ARP (англ. Address Resolution Protocol, протокол определения адреса) – протокол в компьютерных сетях, предназначенный для определения MAC-адреса другого компьютера по известному IP-адресу;
- 3) на транспортном уровне:
 - TCP (англ. Transmission Control Protocol, протокол управления передачей) – отвечает за отправку данных и следит за тем, чтобы они дошли до получателя в целости;
 - UDP (англ. User Datagram Protocol, протокол пользовательских дейтаграмм) – это простой и легковесный протокол, предоставляющий хорошую скорость передачи данных, но не обеспечивает надежную доставку данных;
- 4) на прикладном уровне:
 - HTTP (англ. Hypertext Transfer Protocol, протокол передачи гипертекста) – протокол передачи данных, предназначенный для передачи гипертекстовых документов;

- HTTPS (англ. HyperText Transfer Protocol Secure, защищенный протокол передачи гипертекста) – расширение протокола HTTP для поддержки шифрования в целях повышения безопасности;
- FTP (англ. File Transfer Protocol, протокол передачи файлов) – предназначен для передачи файлов через Internet или локальную компьютерную сеть;
- FTPS (англ. File Transfer Protocol Secure), SFTP (англ. Secure File Transfer Protocol) – это расширения протокола FTP для повышения безопасности;
- SMTP (англ. Simple Mail Transfer Protocol, простой протокол передачи электронной почты) – простой протокол связи, применяемый в целях пересылки электронных писем с сервера отправителя на сервер получателя;
- IMAP (англ. Internet Message Access Protocol, протокол доступа к интернет-сообщениям) – используют для доступа к сообщениям, хранящимся на сервере электронной почты;
- POP3 (англ. Post Office Protocol v.3, протокол почтового отделения), позволяя пользователям скачивать электронные письма с сервера электронной почты в клиент;
- DHCP (англ. Dynamic Host Configuration Protocol, протокол динамического конфигурирования узлов) – позволяет сетевым устройствам автоматически получать IP-адрес и другие параметры, необходимые для работы в сети;
- SNMP (англ. Simple Network Management Protocol, простой протокол сетевого управления) – применяется для мониторинга и управления сетевыми устройствами (маршрутизаторами, коммутаторами, брандмауэрами и др.);
- DNS (англ. Domain Name Service, служба доменных имен) – обеспечивает преобразование доменных имен в IP-адреса и обратно. Является одной из ключевых технологий, обеспечивающих работу Internet.

Сама модель TCP/IP остается неизменной, в то время как стандарты протоколов могут изменяться.

5. СИСТЕМА ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

5.1. КОДИРОВАНИЕ СИГНАЛА

Понятие «*сигнал*» происходит от латинского слова «*signum*» – знак.

В большой российской энциклопедии дается следующее определение *сигнала*: «условный знак, физический процесс (или явление), несущий сообщение (информацию) о каком-либо событии, состоянии объекта наблюдения либо передающий команды управления, указания, оповещения и т.д.» [1].

Сигнал (Толковый словарь Ожегова) – условный знак для передачи на расстояние каких-нибудь сведений, сообщений [14].

Сигнал (в информатике) – процесс передачи информации, элемент информационного сообщения.

Сигнал (в теории информации) – носитель информации, используемый для передачи сообщений.

Чтобы информацию можно было сохранять и передавать, она должна быть обязательно связана с какой-либо материальной основой (носителем информации).

Носитель информации – это любой физический объект (например, бумага, дерево, пластик) или среда (например, воздух, свет), которые используются человеком для записи информации. Эти объекты способны сохранять информацию в своей структуре в течение длительного времени без использования дополнительных устройств (например, источника энергии).

Хранение информации связано с определенными свойствами носителя, которые не меняются со временем (например, намагниченные участки поверхности диска, краски или чернила на бумаге). Передача информации, напротив, связана с характеристиками, которые могут изменяться со временем (например, амплитуда звуковой волны или напряжение в проводах).

В зависимости от особенностей изменения характеристики носителя с течением времени выделяют два типа сигналов: непрерывные и дискретные.

Сигнал называется *аналоговым* (непрерывным), если его параметр может принимать любое значение в пределах некоторого интервала. Если обозначить Z – значение параметра сигнала, а t – время, то зависимость $Z(t)$ будет непрерывной функцией (рис. 21). Такие сигналы традиционно применялись в телефонных сетях.

Сигнал называется *дискретным*, если его параметр может принимать конечное число значений в пределах некоторого интервала. Как правило, такие сигналы передаются импульсами прямоугольной формы.

Для удобства передачи, хранения и обработки информацию преобразуют из одной формы в другую, этот процесс называется – *кодирование информации*.

В вычислительной технике информация представлена в виде двоичного код. Внутри компьютера единицам и нулям соответствуют дискретные электрические сигналы, поэтому их также называют *цифровой сигнал*.

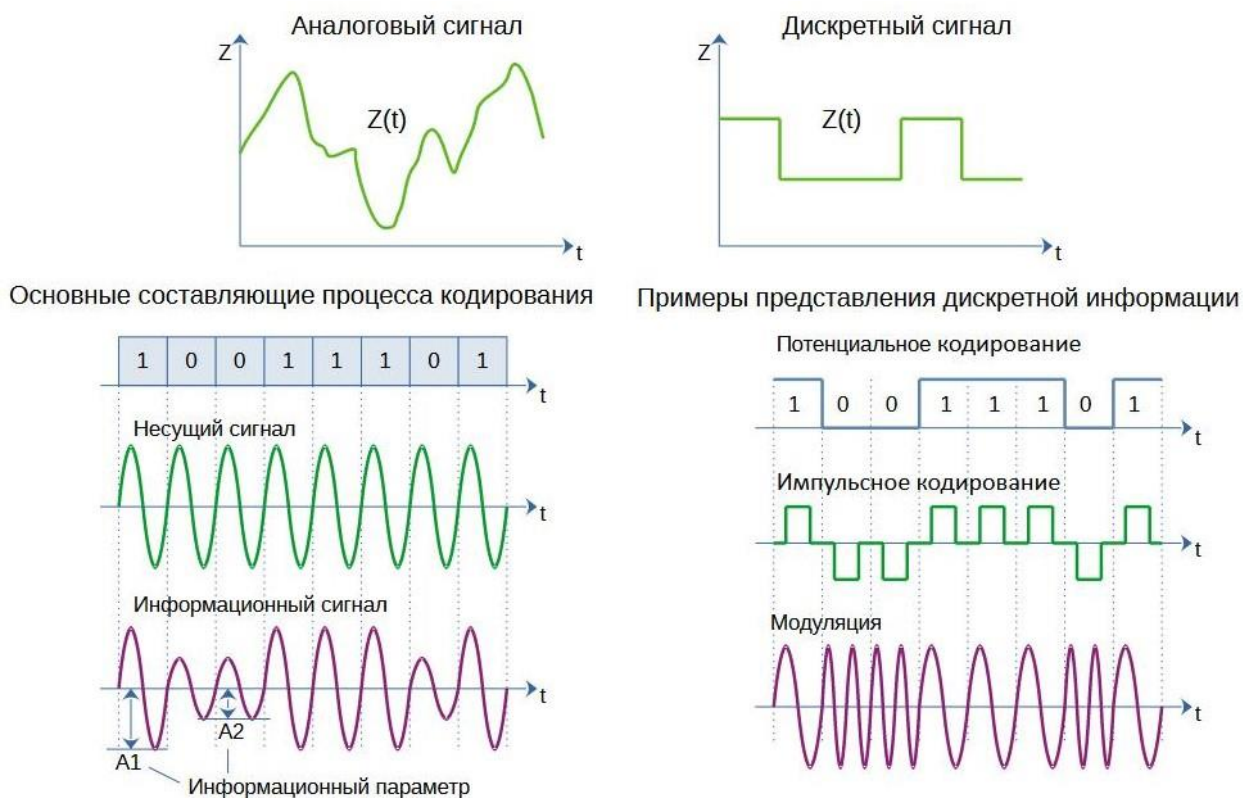


Рис. 21. Представление сигнала

Для кодирования информации в вычислительных системах и сетях применяются различные способы, при которых изменяется один или несколько параметров сигнала (частота, амплитуда, уровень напряжения и т.д.), называемые *информационными параметрами сигнала*. Периодический сигнал, параметры которого подвергаются изменениям, называют *несущим сигналом*. Процесс изменения информационных параметров несущего сигнала в соответствии с передаваемой информацией называется *кодированием*. Измененный в результате кодирования несущий сигнал называют *информационным сигналом* (см. рис. 21).

В сфере информационных технологий для преобразования данных в двоичный формат применяются различные методы кодирования, например, потенциальный, при котором «1» соответствует одному уровню напряжения, а «0» – другому или импульсный, где для представления цифр используются импульсы различной полярности (см. рис. 21).

При передаче данных внутри и за пределами компьютера используются разные методы кодирования. Это обусловлено тем, что внешние каналы связи отличаются от внутренних по своим характеристикам. Во-первых, внешние каналы имеют большую протяженность, чем внутренние. Во-вторых, они более подвержены воздействию электромагнитных помех (рис. 22). Это приводит к большему искажению сигнала, чем внутри компьютера.

В вычислительных сетях для кодирования дискретных данных кроме потенциального и импульсного способов также применяется модуляция.

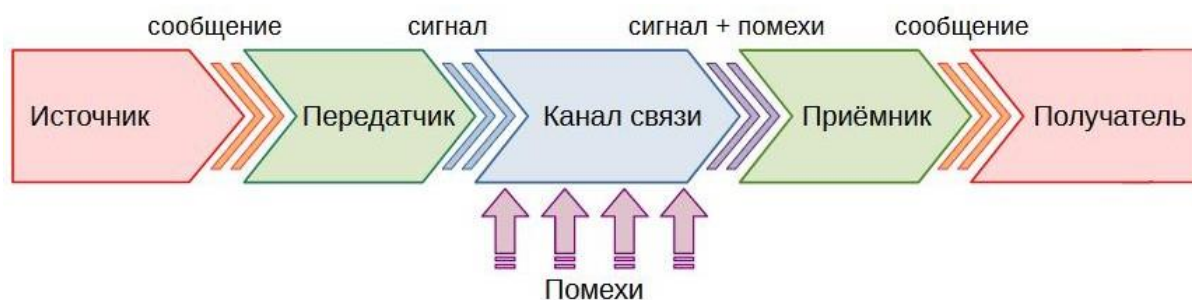


Рис. 22. Система передачи информации

Модуляция – это процесс преобразования цифровых данных (битов) в аналоговые (синусоидальные) сигналы, которые могут быть переданы через аналоговую среду (радиоволны, телефонные линии или оптоволоконные кабели). Эти процессы играют ключевую роль в современных коммуникационных системах, включая Internet, мобильные сети и телевидение.

Применение модуляции позволяет:

- обеспечить совместимость цифровых систем с существующей аналоговой инфраструктурой;
- улучшить качество передачи данных, за счет использования более устойчивы к различным типам помех и шумов методов;
- повышение пропускной способности, которая достигается использованием сложных методов модуляции, что обеспечивает передачу большего количества данных за один цикл.

Существует три базовых метода модуляции: амплитудная, частотная и фазовая, а также сложные методы, сочетающие их (рис. 23).

Амплитудная модуляция – изменения амплитуды несущего колебания под воздействием модулирующего сигнал. Данный метод прост в исполнении, однако не способен обеспечить достаточную помехоустойчивость, поэтому редко используется в чистом виде, но часто применяется в сочетании с фазовой модуляцией – *квадратурная модуляция*.

Частотная модуляция – изменения частоты несущего сигнала под воздействием модулирующего сигнал. Характеризуется высокой помехоустойчивостью, однако требует использования высокочастотного диапазона.

Фазовая модуляция – изменение фазы несущего сигнала под воздействием модулирующего сигнал. Данный тип формирует защищенную от помех связь в микроволновом диапазоне.

Для повышения характеристик передачи данных прибегают к комбинированным методам, которые одновременно модулируют несколько параметров сигнала (частоту, амплитуду, фазу): амплитудно-фазовая (квадратурная), амплитудно-импульсная, частотно-импульсная, фазоимпульсная и др.

Другой важной задачей, которую надо решить при передаче данных в сети это синхронизация узлов.

Синхронизация (от греч. *synchronos* – одновременный) процессов – приведение двух или нескольких процессов к такому их протеканию, когда определенные стадии разных процессов совершаются в определенном порядке, либо одновременно.

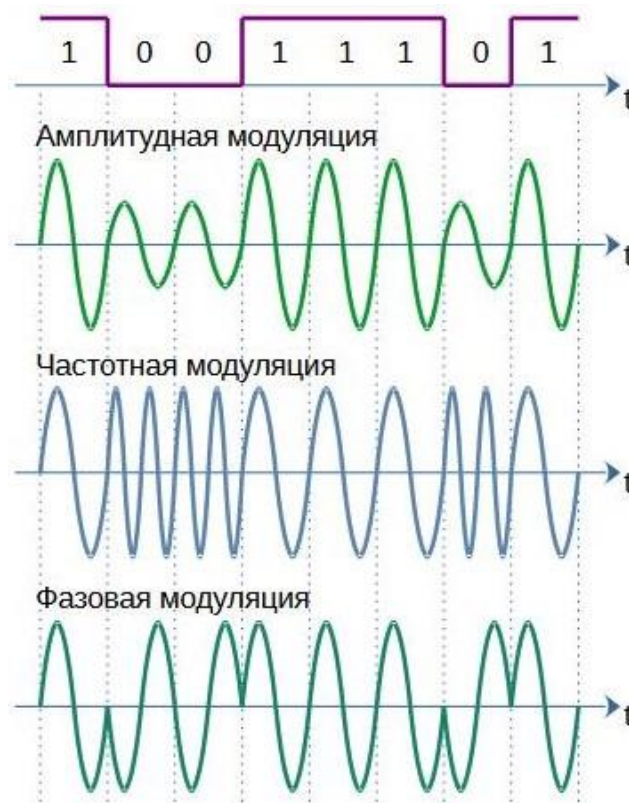


Рис. 23. Базовые методы модуляции

Для того чтобы получатель мог корректно считывать информацию с линии связи, необходимо обеспечить синхронизацию между узлами сети. Особенно сложно решить эту задачу, когда речь идет об узлах, находящихся на большом расстоянии друг от друга.

В сетях для решения проблемы синхронизации используются так называемые самосинхронизирующиеся коды. В самом сигнале, который передается по линии связи, закодированы специальные указания для приемника о том, когда нужно начинать распознавание новой порции данных.

5.2. ЛИНИЯ И КАНАЛ СВЯЗИ: ПОНЯТИЕ, КЛАССИФИКАЦИЯ

Линия связи – это физическая среда и комплекс аппаратных средств, применяемых для передачи информации от передатчика к приемнику [1].

Линии связи бывают:

- проводные (воздушные) – представляют собой провода без каких-либо изолирующих или экранирующих оплеток, проложенные между столбами и висящие в воздухе;
- кабельные – состоят из набора проводников, заключенных в несколько слоев изоляции;
- беспроводные – радиоканалы наземной и спутниковой связи образуются с помощью передатчика и приемника радиоволн.

По физической природе линии связи можно разделить на:

- механические – используются для передачи материальных носителей информации;

- акустические – переносят звуковые сигналы;
- оптические – передают световые сигналы;
- электрические – передают электрические сигналы.

В линиях связи создаются каналы связи.

Канал связи – это система технических средств и среда распространения сигналов для односторонней передачи данных от отправителя (источника) к получателю (приемнику).

В зависимости от среды распространения каналы связи можно разделить на:

- проводные – для передачи сигнала служат проводниковые линии связи (электрические провода, кабели и т.д.);
- беспроводные – для передачи сигнала используют электромагнитные волны, распространяющиеся по эфиру (радиоканалы, спутниковые, инфракрасные каналы и т.д.).

По возможным направлениям передачи сигналов каналы связи подразделяются на:

- симплексные – сообщение может передаваться только в одном направлении;
- полудуплексные – сообщение может передаваться в обоих направлениях поочередно;
- дуплексные – сообщение может передаваться одновременно в обоих направлениях.

В зависимости от характера передаваемого сигнала каналы связи делятся на:

- аналоговые – сообщение передается в виде сигнала непрерывной формы (аналогового);
- цифровые – сообщение передается в виде дискретных (импульсных) сигналов.

Каналы связи могут быть коммутируемыми и некоммутируемыми.

Коммутируемый создается на отдельном участке линии только на время передачи данных и после окончания сеанса связи ликвидируется.

Некоммутируемый (выделенный) создается на длительное время и имеет постоянные характеристики (протяженность, пропускную способность, помехозащищенность и т.д.).

По назначению каналы связи могут быть: телефонные, звукового и телевизионного вещания, передачи данных, телематики (информационно-телекоммуникационные услуги) и др.

5.3. ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛИНИИ СВЯЗИ

На качество передачи данных по линиям связи оказывает влияние как характеристики сигнала (мощность, способ кодирования и др.), так и характеристики линий связи. Основными характеристиками линии связи являются:

- амплитудно-частотная характеристика;
- затухание;

- полоса пропускания;
- пропускная способность;
- помехоустойчивость;
- достоверность передачи данных.

При проектировании сети следует учитывать, что ее характеристики зависят как от линии связи, так и способа передачи данных. Поэтому если определено, какой способ передачи (протоколы) будет использоваться в сети, то известны и ее характеристики. Например, если в сети используется технология Gigabit Ethernet стандарт 1000BASE-T – это обозначает, что скорость до 1 гигабит в секунду; среда передачи – витая пара категории 5, 5е, 6 или 7; максимальная длина кабеля – 100 м.

В тех случаях, когда предстоит определить, какой из существующих способов передачи можно использовать на линии связи, важным является знание ее основных характеристик.

Для определения характеристик линии связи часто используют анализ ее реакций на некоторые эталонные воздействия, в качестве которых используется синусоидальные сигналы различных частот [12].

В общем случае синусоида, как функция от времени, имеет следующие параметры (рис. 24):

- амплитуда (A) – максимальное значение функции;
- период (T) – время, в течение которого функция выполняет один цикл, $y(t) = y(t + T)$;
- частота (f) – величина, обратная периоду $f = 1/T$, определяет, сколько полных колебаний синусоиды происходит за единицу времени;
- фаза – относительное значение аргумента t в пределах одного периода.

В соответствии с теорией гармонического анализа любой периодический процесс можно представить в виде суммы гармоник – синусоидальных колебаний различных частот и амплитуд (рис. 25).

Непериодические процессы также можно представить в виде бесконечного ряда синусоидальных сигналов.

При передаче цифровых (дискретных, импульсных) сигналов искажаются низкочастотные и высокочастотные гармоники, в результате фронты импульсов теряют свою форму (рис. 26). Это может привести к тому, приемник на конце линии связи неправильно распознает сигнал.

Сигнал искажается из-за того, что на его распространение оказывает влияние внутренние физические параметры (активное сопротивление, индуктивность, емкость, проводимость) линии связи и промежуточной аппаратуры, а также внешние помехи.

Степень искажения синусоидальных сигналов линиями связи оценивается с помощью таких характеристик, как амплитудно-частотная характеристика, полоса пропускания и затухание на определенной частоте.

Зависимость амплитуды сигнала от частоты на выходе линии связи относительно амплитуды на входе для всех возможных частот передаваемого сигнала называется *амплитудно-частотной характеристикой*.

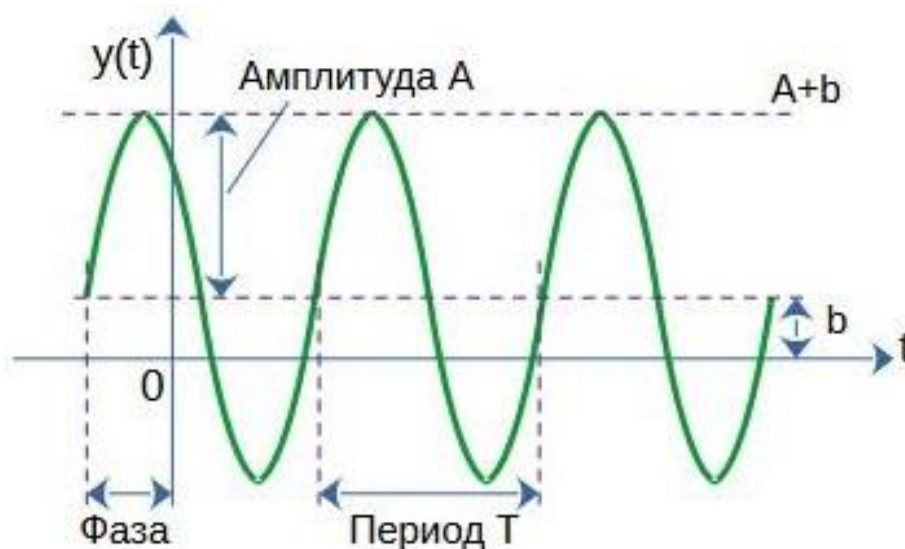


Рис. 24. Синусоида

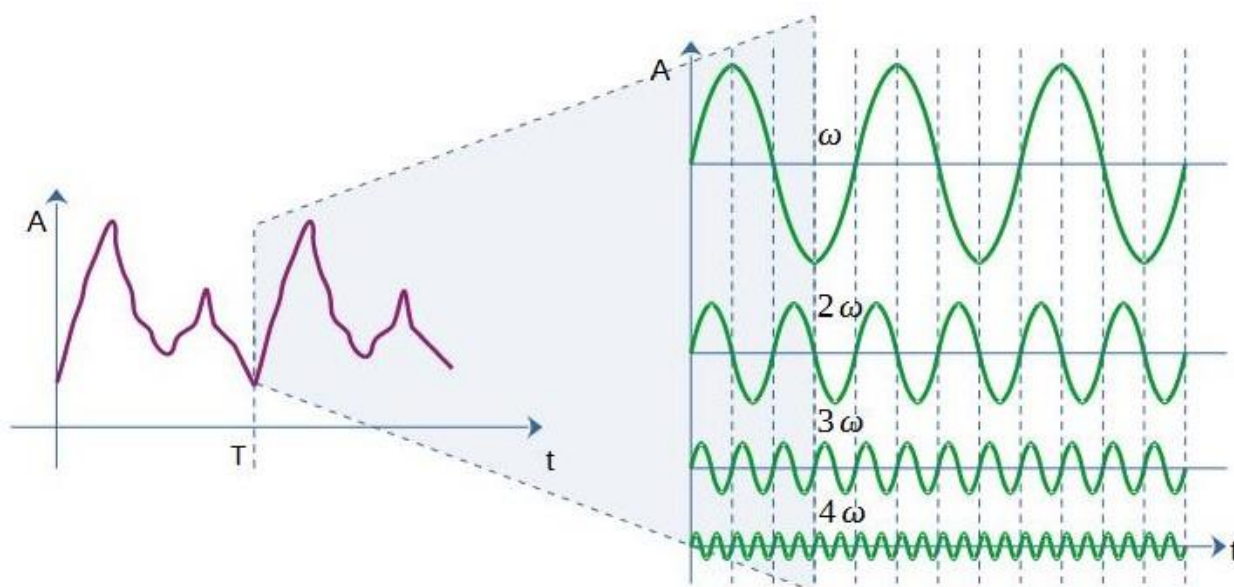


Рис. 25. Представление периодического сигнала суммой синусоид

Хотя эта характеристика дает полное представление о свойствах линии связи, ее определение требует проведения большого количества экспериментов. Поэтому на практике вместо нее обычно используют более простые характеристики – затухание и полосу пропускания.

Затухание – это степень ослабления мощности (амплитуды) сигнала при прохождении сигнала определенной частоты по линии связи, принято оценивать в децибелах (дБ).

Затухание (A) рассчитывается по следующей формуле:

$$A = 10 \lg \frac{P_{\text{ВЫХ}}}{P_{\text{ВХ}}},$$

где $P_{\text{ВЫХ}}$ и $P_{\text{ВХ}}$ – мощности сигнала на выходе и входе линии соответственно.

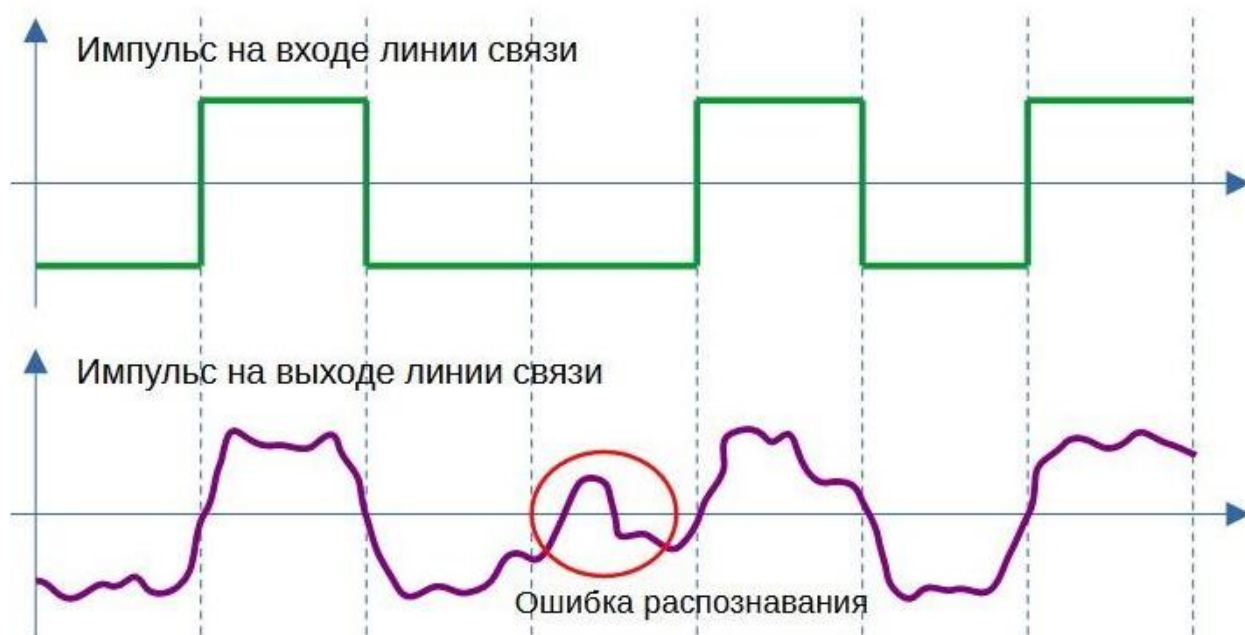


Рис. 26. Искажение дискретного сигнала в линии связи

Знание затухания позволяет оценить необходимую мощность передатчика и чувствительность приемника сигнала.

Затухание зависит от длины линии связи, поэтому в сетях устанавливается предел для ее максимальной длины. Это делается для того, чтобы гарантировать, что прибывающий на приемник сигнал обладает достаточной мощностью (амплитудой) для надежного распознавания и корректной интерпретации. Если канал превышает эту максимальную длину, на его протяжении для восстановления приемлемого уровня сигнала должна использоваться промежуточная усилительная аппаратура (например, повторитель).

На форму сигнала, передаваемого по линии связи, влияет ограниченность ее полосы пропускания.

Диапазон частот, в котором сигнал передается без существенных потерь, называется *полосой пропускания*. Обычно она составляет 0,5 от исходного сигнала. Полоса пропускания определяет диапазон частот, в котором сигнал передается без существенных искажений. От ширины полосы пропускания зависит максимальная скорость передачи данных по линии связи.

Пропускная способность – это максимальное количество данных, которые можно передать за единицу времени без потери качества сигнала. Она зависит от характеристик среды передачи, таких как затухание и полоса пропускания, а также от способа кодирования данных и спектра передаваемых сигналов.

Способность линии связи противостоять помехам, которые могут возникать как во внешней среде, так и внутри самого кабеля, называется *помехоустойчивостью*. Эта характеристика зависит от типа физической среды, а также от наличия специальных средств, которые помогают уменьшить помехи. Для снижения влияния внешних электромагнитных полей обычно применяют экранирование и(или) скручивание проводников.

Достоверность передачи данных (также называют интенсивностью битовых ошибок, англ. Bit Error Rate, BER) показывает, насколько вероятно искажение каждого отдельного бита при передаче данных. Этот показатель, как и пропускная способность, зависит от характеристик физической среды и метода передачи данных.

Искажение формы сигнала может быть вызвано помехами в канале связи, а также ограниченной пропускной способностью канала. Чтобы обеспечить высокую точность передачи данных, необходимо улучшить защиту от помех, снизить уровень взаимных наводок в кабеле и использовать каналы связи с широкой полосой рабочих частот.

5.4. МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЕ И КОММУТАЦИЯ

В целях повышения эффективности использования физической линии связи в сетях применяют различные методы разделения этой линии между несколькими потоками данных, относящимися к разным пользователям сети. При этом возникают необходимость решения таких задачи, как мультиплексирование (демультиплексирование) потоков данных и коммутация абонентов сети.

Мультиплексирование (уплотнение, англ. multiplexing) – метод, обеспечивающий передачу нескольких потоков данных по одной линии связи (физической среде распространения сигналов).

Коммутация (переключение, англ. switching) – это метод, определяющий соединение и обработку перемещения данных в сетях, а также соединения абонентов сети через транзитные узлы.

Методы мультиплексирования (демультиплексирования) и коммутации в одной и той же сети должны быть согласованными и построенными на единых принципах.

В сетях применяется три метода мультиплексирования:

- частотное мультиплексирование (англ. Frequency Division Multiplexing, FDM);
- волновое мультиплексирование (спектральное уплотнение, англ. Wave Division Multiplexing, WDM);
- временное мультиплексирование (англ. Time Division Multiplexing, TDM).

Применение того или иного метода мультиплексирования влечет за собой применение метода коммутации, базирующегося на том же принципе.

Частотное мультиплексирование (FDM). При FDM для каждого потока данных из общей полосы пропускания линии связи выделяется собственный диапазон (полоса) частот – канал связи. Мультиплексирование выполняется с помощью смесителя частот, а демультиплексирование – с помощью узкополосного фильтра, ширина которого равна ширине диапазона канала.

Техника FDM была разработана для телефонных сетей, в настоящее время также применяется в беспроводных сетях.

Волновое мультиплексирование (WDM). В WDM используется тот же принцип частотного разделения каналов что и в FDM, но только в оптической среде передачи (инфракрасный диапазон частот). Технология WDM применяется для передачи данных по волоконно-оптическим кабелям. Отличие сетей WDM от сетей FDM заключается в предельных скоростях передачи информации.

Временное мультиплексирование (TDM). FDM разрабатывалось для передачи аналоговых (голосовых) сигналов. Развитие вычислительных сетей, использующих дискретный (цифровой) сигнал, стимулировало разработку новой техники мультиплексирования, ориентированной на дискретный характер передаваемых данных – временное мультиплексирование. При TDM для каждого потока данных выделяется определенный период времени.

Применяются два типа TDM: асинхронный и синхронный.

При асинхронном режиме каждый пользователь пытается занять канал тогда, когда у него возникает потребность в передаче информации. Если такой возможности нет, то пакет буферизуется в ожидании, когда канал освободится.

В синхронном режиме для каждого пользователя периодически выделяется фиксированный и одинаковый для всех промежутков времени, в течение которого канал находится в его распоряжении.

Основными способами коммутации абонентов в сетях являются: коммутация каналов и коммутация пакетов.

Коммутация каналов.

Для передачи данных между узлами в сети с коммутацией каналов необходимо объединить отдельные участки каналов в единый канал. Это делается с помощью специального оборудования – коммутаторов, которые устанавливают соединения между конечными узлами сети. Прежде чем начать передачу данных, в сети с коммутацией каналов необходимо установить соединение. В процессе установки соединения и создается единый канал.

К достоинствам коммутации каналов относятся:

- постоянная и известная скорость передачи данных;
- правильная последовательность прихода данных;
- низкий и постоянный уровень задержки передачи данных.

Недостатками коммутации каналов являются:

- возможность отказ в процессе установления соединения;
- нерациональное использование пропускной способности физических каналов;
- обязательная задержка перед передачей данных из-за процесса установления соединения.

Есть два вида коммутации каналов: динамический и постоянный. При динамической коммутации абоненту канала выделяется время сеанса связи (например, телефонный звонок), при постоянной коммутации канал за абонентом закрепляется на длительный срок (например, вещание радиостанций).

Коммутация пакетов.

При коммутации пакетов для передачи данные разбиваются на сравнительно небольшие части, называемые пакетами. Каждый пакет, кроме передаваемых данных, содержит служебную информацию (заголовок), необходимую для доставки и правильной сборки пакетов.

Достоинствами коммутации пакетов является:

- высокая устойчивость к сбоям;
- высокая общая пропускная способность сети при передаче дискретных (цифровых) сигналов;
- возможность динамически перераспределять пропускную способность каналов связи.

К недостаткам коммутации пакетов относится:

- неопределенность скорости передачи данных между абонентами сети;
- переменная величина задержки пакетов данных;
- возможные нарушения последовательности прихода пакетов;
- возможные потери пакетов.

Методы частотного и волнового мультиплексирования пригодны исключительно для сетей с коммутацией каналов. Временное мультиплексирование имеет две разновидности: асинхронный метод является основой пакетных сетей, а синхронный вариант используется в сетях с коммутацией каналов.

Методы пакетной коммуникации.

Существуют два основных способа пакетной коммутации: датаграммный и виртуальных соединений.

Понятие «датаграмма» (от англ. datagram) представляет собой отдельный блок данных, который передается по сети независимо от других блоков. В процессе передачи по сети датаграммы могут следовать различными путями и достигать получателя не в том порядке, в котором были отправлены и переданы (рис. 27). Для того чтобы обеспечить правильную маршрутизацию и сборку датаграмм, каждый блок данных содержит служебную информацию, такую как адрес получателя, порядковый номер и другие данные.

Датаграммный метод эффективен для передачи коротких сообщений. Он не требует громоздкой процедуры установления соединения между абонентами.

В виртуальном методе предполагается предварительное установление маршрута передачи всего сообщения от отправителя до получателя (см. рис. 27). Для этого используется специальный служебный пакет – запрос вызова (ЗВ).

Вначале отправляется запрос вызова, для которого формируется маршрут, и в случае согласия получателя по сформированному маршруту направляются все пакеты, относящиеся к этому вызову. Пакеты проходят друг за другом и в том же порядке попадают абоненту-получателю.

Преимущество виртуального метода перед датаграммным заключается в обеспечении упорядоченности пакетов, поступающих в адрес получателя и сравнительной простоте управления потоком данных вдоль маршрута.

К недостаткам следует отнести отсутствие возможности коррекции маршрута в случае возникновения проблем при передаче данных.

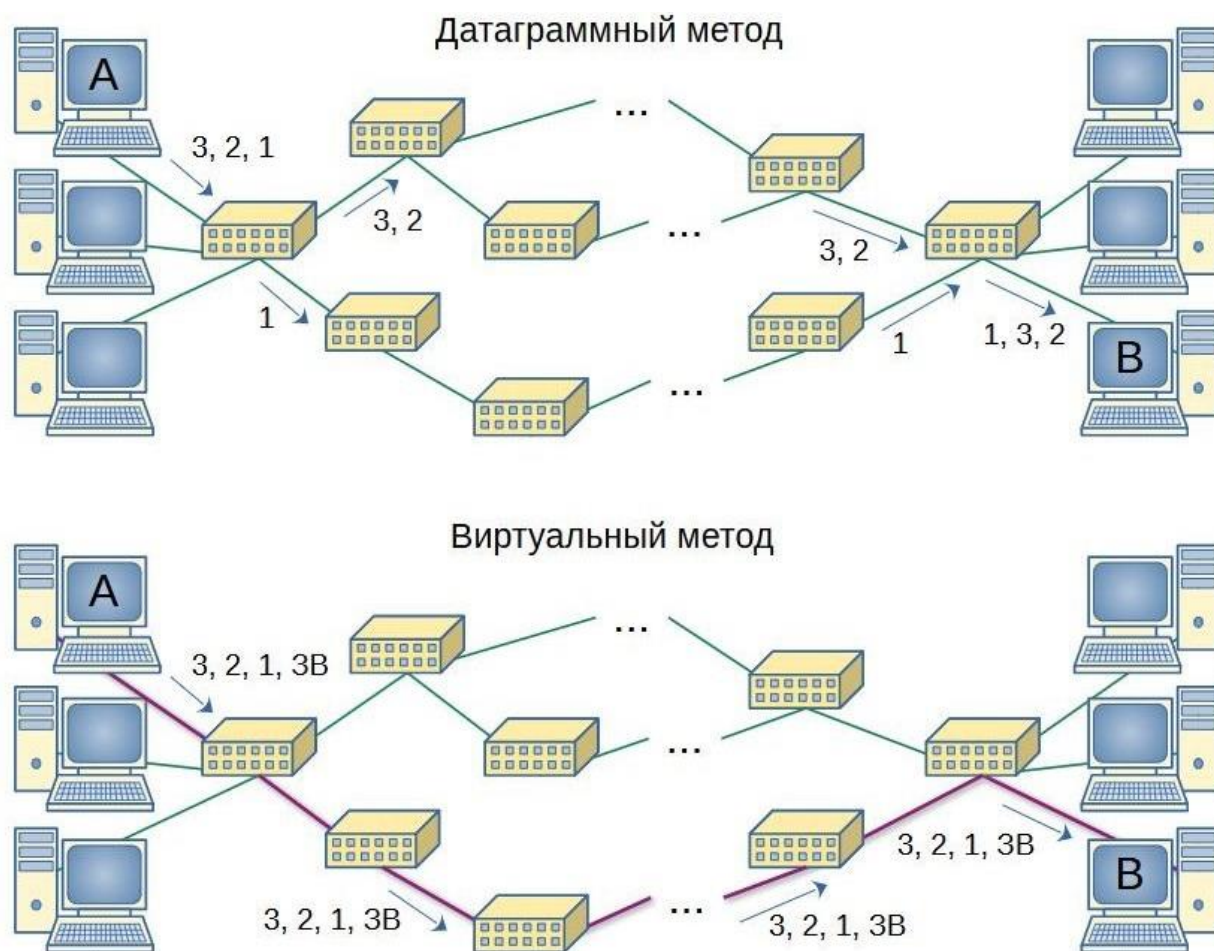


Рис. 27. Методы пакетной коммуникации

6. ФИЗИЧЕСКАЯ СРЕДА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ И СЕТЕВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

6.1. ФИЗИЧЕСКАЯ СРЕДА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Как отмечалось выше, для передачи данных в сетях используется сигнал, который представляет собой электромагнитные колебания (радиоволны, микроволны, инфракрасное излучение, видимый свет).

Среда, в которой распространяются электромагнитные колебания, можно разделить на два типа:

- направленные (проводные) среды – сигналы перемещаются по физически ограниченному пути (например, медный провод или волоконно-оптическое волокно);
- ненаправленные (беспроводные) среды – сигнал распространяется свободно (например, излучение в земной атмосфере).

Для построения проводных сетей широко используются кабели. Кабель имеет достаточно сложную конструкцию и состоит из набора проводников, заключенных в несколько слоев изоляции (электрической, электромагнитной, механической, климатической). Основными типами кабеля являются: коаксиальный, витая пара и волоконно-оптический. Они отличаются толщиной, скоростью передачи данных, сложностью установки, ценой и т.д.

Коаксиальный кабель.

Коаксиальный кабель – это электрический кабель, состоящий из центрального провода и экрана, расположенных на одной оси и разделенные изоляционным материалом (рис. 28).

Типовой коаксиальный кабель состоит из следующих компонентов:

- центральный проводник (жила), который может быть в виде одиночного или многожильного провода. Изготавливаться он может из различных сплавов: медные, алюминиевые, стальные и т.д.;



Рис. 28. Коаксиальный кабель

- изоляция, может быть из различных диэлектрических материалов. Основная ее цель – разделить центральный провод от экрана и обеспечить их соосность;

- внешний проводник (экран). Может выполняться в виде оплетки, фольги, пленки и т.д.;

- внешняя изоляция (оболочка), обеспечивающая защиту от внешних воздействий.

В первых компьютерных сетях коаксиальный кабель широко использовался, но по мере развития технологий он был вытеснен другими видами кабеля: в локальных сетях – витой парой, в магистральных линиях – волоконно-оптическим.

В настоящее время коаксиальный кабель применяется для передачи высокочастотных сигналов в области телекоммуникаций и электроники: антенные системы, системы безопасности и видеонаблюдения, системы радиосвязи и т.д. [13].

Выпускается коаксиальный кабель в двух модификациях: тонкий (толщина 6 мм) и толстый (толщина 12 мм).

В качестве примера можно привести следующие распространенные типы коаксиального кабеля:

- RG-6 – разновидность тонкого кабеля с волновым сопротивлением 75 Ом, используемым в спутниковых системах и цифровом телевидении;

- RG-58 – тонкий кабель с волновым сопротивлением 50 Ом, применяется в системах радиопередачи и усиления сотовой связи;

- RG-11 – толстый (магистральный) кабель, используется для передачи сигналов на большие расстояния, применяется в системах кабельного телевидения и сетевых инфраструктурах.

Витая пара.

Витая пара – это кабель на медной основе, объединяющий в оболочке одну или более скрученных пар проводников (рис. 29). На сегодня – это основной вид кабеля для локальных вычислительных сетей.

В компьютерных сетях, как правило, кабель имеет 4 пары в одной оболочке. Каждая пара представляет собой два переплетенных вокруг друг друга изолированных медных проводов (которые называют «ring» и «Tip», соответственно, главный и дополнительный) и может быть окружена экраном, оболочкой или дополнительной изоляцией. Взаимная обвивка обеспечивает защиту от собственных и внешних помех.

Каждая пара имеет свой номер и свою уникальную цветовую схему. Для каждой пары проводов ring-провод окрашен в основной цвет с полосками дополнительного, а Tip-провод – наоборот (например, для пары 1 ring1-провод будет синий с белыми полосками, а Tip1-провод – белый с синими полосками). На практике, когда количество пар невелико (4 пары), часто не применяется окраска основного провода полосками цвета дополнительного (тогда один, например, синий, а второй – белый с синими полосками).

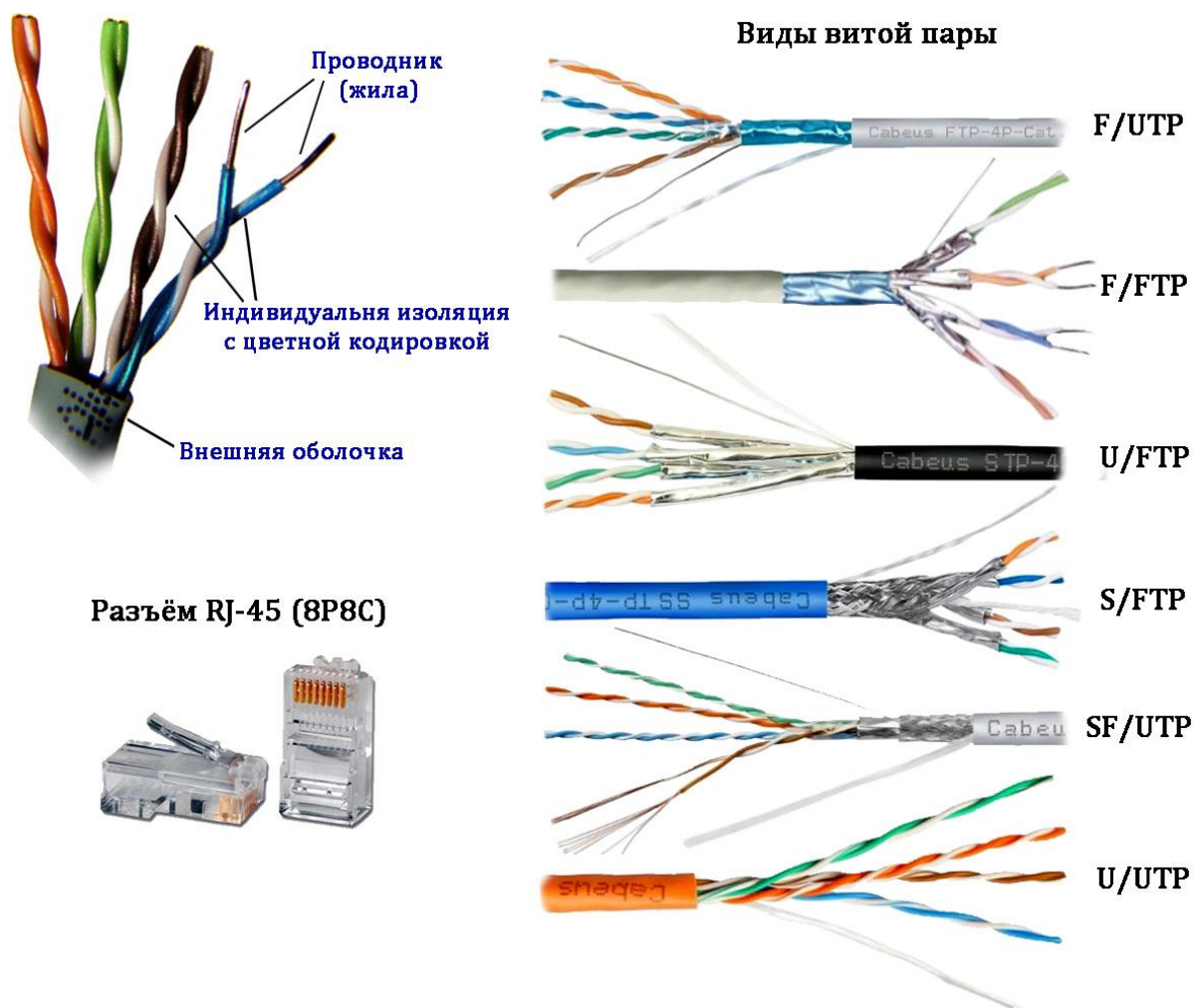


Рис. 29. Витая пара

Существует два основных типа витой пары: неэкранированная и экранированная.

Экранированная витая пара выпускается в нескольких модификациях.

В соответствии с международным стандартом ISO/IEC 11801 для обозначения конструкции витой пары используется аббревиатура вида xx/xTP, в которой используются буквы U (нет экрана), S (общий экран в виде металлической оплетки), F (экран в виде алюминиевой фольги).

В зависимости от вариантов экранирования можно выделить следующие типы конструкции витой пары (см. рис. 29):

- неэкранированная (U/UTP);
- с индивидуальным экраном из фольги для каждой отдельной пары (U/FTP);
- с общим экраном из фольги и(или) оплетки (F/UTP, S/UTP, SF/UTP);
- с индивидуальным и общим экраном (F/FTP, S/FTP, SF/FTP).

Экран повышает защищенность передаваемого сигнала от внешних помех, что, с одной стороны, обеспечивает более высокую скорость и большие расстояния передачи сигнала, а с другой – делает кабель более дорогим.

Витые пары подразделяются на категории (табл. 1).

1. Категории витой пары

Категория	Применение	Скорость передачи данных
1	Телефонный кабель, по которому можно передавать только речь. Передачу цифровых данных не поддерживает	—
2	Передача данных (кабель устарел)	до 4 Мбит/с
3	Передача данных (кабель устарел)	до 10 Мбит/с
4	Передача данных (кабель устарел)	до 16 Мбит/с
5	Передача данных	до 100 Мбит/с
5e	Передача данных, улучшенная версия категории 5, разработанная специально для поддержки протокола Gigabit Ethernet	до 1 Гбит/с
6	Передача данных, кабель может быть экранированным и неэкранированным	до 1 Гбит/с
7	Передача данных, кабель только экранированный, S/FTP: индивидуальный + общий (фольга + оплетка)	до 10 Гбит/с
8	Передача данных, кабель только экранированный, S/FTP: индивидуальный + общий (фольга + оплетка)	до 40 Гбит/с

Соединение витой пары с сетевым оборудованием выполняется при помощи 8-позиционного модульного 8-контактного разъем (8P8C), который обычно называют RJ-45 (см. рис. 29).

К достоинствам витой пары относят дешевизну и простоту установки. Ее недостатками являются: взаимное наложение сигналов между смежными проводами, чувствительность к внешним электромагнитным полям, возможность несанкционированного перехвата информации, большая степень затухания сигнала по пути, чем у кабелей других типов.

Волоконно-оптический кабель.

Волоконно-оптический (оптоволоконный, оптико-волоконный) кабель — кабель на основе световодов, предназначенный для передачи оптических сигналов. Он был специально разработан для передачи данных на большие расстояния с высокой скоростью [8].

В волоконно-оптическом кабеле сигнал передается в виде светового излучения (оптического импульса) внутри нити из прозрачного материала (оптического волокна). Источником светового излучения выступают полупроводниковые лазеры (лазерные диоды) или светодиоды (светодиоды).

Основными конструктивными элементами волоконно-оптического кабеля являются (рис. 30):

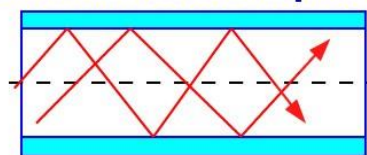
- наружная оболочка – обеспечивает первичную защиту от физических повреждений (истирание, порезы, раздавливание и т.п.), изготавливается из полимерных материалов;
- укрепляющие волокна – арамидные или стеклопластиковые нити, обеспечивающие защиту оптического волокна от чрезмерного натяжения;
- внутренняя (промежуточная) оболочка из полимерного материала;
- гидрофобный наполнитель – препятствует проникновению влаги;
- оптический модуль – полимерная или стальная трубка, в которой находятся оптические волокна и заполненная гидрофобным гелем;
- оптическое волокно (световод) – нить из сверхчистого кварцевого стекла или пластика (сердечник, сердцевина), покрытая стеклянной оболочкой;
- центральный силовой элемент – стеклопластиковый стержень, обеспечивающий жесткость скрутки кабеля.

Стеклянная оболочка световода имеет меньшие показатели преломления, чем сердечник, поэтому оптический сигнал, движущийся по сердечнику, отражается от нее. В зависимости от распределения показателя преломления и величины диаметра сердечника различают многомодовые (англ. Multi Mode Fiber, MMF) и одномодовые (англ. Single Mode Fiber, SMF) волокна. В свою очередь многомодовые волокна могут быть двух типов: со ступенчатым и плавным изменением показателя преломления (см. рис. 30).

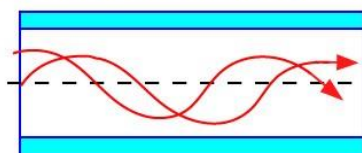


Типы оптического волокна

Многомодовое волокно со ступенчатым изменением показателя преломления



Многомодовое волокно с плавным изменением показателя преломления



Одномодовое волокно

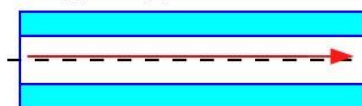


Рис. 30. Волоконно-оптический кабель

Диаметр световода в одномодовом кабеле 5...10 мкм, а в многомодовом – 40...100 мкм. В одномодовом кабеле из-за малого диаметра световода сигнал распространяется вдоль оптической оси световода, не отражаясь от его оболочки, что обеспечивает более низкое его затухание по сравнению с многомодовым кабелем. Однако производство сверхтонких волокон для одномодового кабеля является сложным технологическим процессом, что влечет за собой более высокую цену.

На сегодняшний день волоконно-оптические кабели являются наиболее совершенным типом кабеля, который обеспечивает передачу данных на очень высоких скоростях (до 100 Гбит/с и более) на значительные расстояния (80...100 км без необходимости промежуточного усиления). При этом они также отличаются высокой помехозащищенностью.

Многомодовые кабели обычно используются для передачи данных на скоростях до 10 Гбит/с на небольшие расстояния (до 300...2000 м). В то же время одномодовые кабели применяются для передачи данных на сверхвысоких скоростях (до сотен гигабитов в секунду) на расстояния до нескольких десятков и даже сотен километров (в качестве магистральных линий связи). Для одномодовых кабелей в качестве источника светового излучения используются только лазерные диоды.

Одним из критических мест волоконно-оптических систем являются смотки волокон и разъемы. Учитывая диаметр центральной части волокна, даже смещение осей стыкуемых волокон на несколько микрон или изменение формы сечения световода может привести к серьезным потерям.

6.2. СЕТЕВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Линия связи – это не просто среда для передачи информации, но и набор технических устройств. Все устройства, которые используются в сетях, можно разделить на три категории:

- аппаратура передачи данных (англ. Data Circuit Terminating Equipment, DCE) – соединяет компьютер или коммутатор с линией связи;
- аппаратура пользователя линии связи (оконечное оборудование данных, англ. Data Terminal Equipment, DTE) – вырабатывает данные для передачи по линии связи и подключается непосредственно к аппаратуре передачи данных;
- промежуточная аппаратура – используется на линиях связи большой протяженности и решает две основные задачи: улучшение качества сигнала и создание канала связи между абонентами сети.

Разделение оборудования на аппаратуру передачи данных и аппаратуру пользователя линии связи является достаточно условным. Например, сетевой адаптер выполняет как функции DTE, так и DCE.

В процессе передачи информации на небольшие дистанции в сетях иногда можно обойтись без дополнительного оборудования. Однако, если требуется обеспечить надежную передачу данных на значительные расстояния, без использования такого оборудования не обойтись. В глобальных сетях промежуточная аппаратура решает такие задачи, как мультиплексирование (демультиплексирование) потоков данных и коммутацию абонентов сети.

Кратко рассмотрим основные виды сетевого оборудования.

Сетевой адаптер (сетевая карта, англ. Network Interface Card, NIC) – это периферийное устройство, непосредственно взаимодействующее со средой передачи данных, которая прямо или через другое коммуникационное оборудование связывает узлы сети друг с другом.

Сетевые адаптеры должны быть установлены на любом узле, подключенном к локальной сети. Современные материнские платы выпускаются уже со встроенным сетевым адаптером.

В современных сетях, как правило, между сетевыми адаптерами взаимодействующих узлов устанавливается специальная коммуникационная аппаратура (концентратор, мост, коммутатор или маршрутизатор), которая берет на себя некоторые функции по управлению потоком данных.

Каждый сетевой адаптер имеет уникальный аппаратный адрес (англ. Media Access Control, MAC), который является уникальным адресом сетевого устройства. Адрес записывается в виде шести групп шестнадцатеричных цифр по две в каждой.

Существуют различные типы сетевых адаптеров, которые могут отличаться: сетевой технологией (например, Gigabit Ethernet или Wi-Fi); интерфейсом подключения (например, PCI-E или USB); средой передачи (например, витая пара, оптоволокно или радиосвязь).

При выборе сетевого адаптера следует согласовывать его технические характеристики с пропускной способностью сети. Например, если используется 1000Base-TX (Gigabit Ethernet на неэкранированной витой паре категории 6, 7), то сетевой адаптер Fast Ethernet сможет обеспечить только скорость передачи данных 100 Мбит/с. В настоящее время выпускаются сетевые карты, поддерживающие сразу несколько вариантов Ethernet (например, скорость 100 Мбит/с и 1000 Мбит/с).

Модем – это устройство, которое позволяет передавать данные между компьютерами по телефонным или телекоммуникационным линиям связи. Основная функция модема – преобразовывать цифровые сигналы компьютера в аналоговые. Это происходит благодаря модуляции на передающей стороне и демодуляции на приемной стороне. От этих операций модем и получил свое название: МОдуляция и ДЕМОдуляция.

Конструктивно модемы бывают внешние или внутренние (встроенные). Внешние модемы представляют собой отдельное устройство, подключаемое

с помощью кабеля или через USB-разъем. Внутренний модем уже установлен внутри компьютера, как правило, они используются в ноутбуках и планшетах. Также существуют модемы, которые могут использоваться как маршрутизаторы, они обеспечивают создание локальной сети и подключение нескольких устройств к интернет-подключению.

Основной характеристикой модема является набор поддерживаемых протоколов, чем больше протоколов поддерживает модем, тем лучше он может настроиться на конкретную ситуацию при установке соединения. Протоколы, используемые в модемах, делятся на четыре группы: модуляции; обнаружения и коррекции ошибок; сжатия данных; передачи файлов.

Модемы – неотъемлемая часть современных сетей, они используются операторами связи для предоставления услуг доступа в сеть Интернет и передачи данных через телефонные линии, оптоволоконные кабели или беспроводные сети.

Повторитель (англ. repeater) – сетевое оборудование, обеспечивающее соединение нескольких кабельных сегментов и ретрансляцию сигнал из одного сегмента сети в другой. При этом повторитель улучшает качество сигнала (восстанавливает мощность и амплитуду, улучшает фронты и т.п.), что позволяет преодолеть ограничения на длину линий связи. В одном сегменте сети можно использовать несколько повторителей, тем самым, значительно увеличив расстояние между подключаемыми узлами сети.

Концентратор (многопортовый повторитель, англ. hub) – многопортовое устройство для объединения компьютеров в локальную сеть (Ethernet) с использованием кабельной инфраструктуры типа витая пара. Он является центральным соединительным узлом в сетях с топологией «звезда».

Концентратор не способен регулировать потоки данных, он осуществляет регенерацию сигнала и повторение его на все свои активные порты, игнорируя адрес назначения (таким образом реализуется логическая шинная топология). Все узлы сети получают информацию и проверяют, предназначена ли она им. Узел, которому информация предназначена, обрабатывают ее и отправляет ответ отправителю.

Кроме того, концентратор способен передавать данные в полудуплексном режиме, т.е. в каждый момент времени осуществляется только одна операция – прием или передача данных на порт.

Коммутатор (англ. switch) – устройство, объединяющее несколько устройств в локальную сеть, как и концентратор, но, в отличие от него, также выполняет функции фильтрации трафика, отбрасывая данные, которые не адресованы устройствам в сети.

В своей памяти коммутатор хранит таблицу, в которой указывается соответствие порта коммутатора и MAC-адреса узла, подключенного к этому порту. Это обеспечивает локализацию трафика, т.е. если на один из портов коммутатора поступает сообщение, конкретному узлу сети (MAC-адрес

которого есть в таблице), то оно будет передан только через порт, указанный в таблице, что позволяет повысить общую пропускную способность сети.

Также коммутатор, в отличие от концентратора, способен работать в дуплексном режиме (одновременно передавая и принимая данные) и разрешать возникающие на портах коллизии.

Структурированная кабельная система представляет собой комплекс коммутационных элементов, таких как кабели, разъемы, коннекторы, кроссовые панели и шкафы, а также методологию их совместного применения. Эта система позволяет создавать упорядоченные и легкомасштабируемые структуры соединений в вычислительных сетях.

Внедрение структурированной кабельной системы вместо беспорядочно проложенных проводов открывает перед компанией множество преимуществ. При правильном планировании эта система способна стать универсальным инструментом для передачи данных в локальной сети, организации телефонной связи, передачи видеoinформации и даже сигналов от датчиков пожарной безопасности и охранных систем.

Такая многофункциональность открывает возможности для автоматизации многих процессов контроля, мониторинга и управления различными службами и системами жизнеобеспечения компании.

Кроме того, внедрение структурированной кабельной системы позволяет значительно сэкономить средства при подключении новых пользователей и изменении их местоположения. Как известно, стоимость кабельной системы в основном зависит не от цены самого кабеля, а от затрат на его прокладку. Поэтому более целесообразно провести однократную работу по прокладке кабеля с запасом, чем многократно наращивать его в будущем.

Наряду с объединением компьютеров, в сети существует и объединение различных сетей между собой, для чего используются такие коммуникационные устройства, как мосты, маршрутизаторы и шлюзы.

Мост (англ. bridge) – это техническое решение, которое позволяет объединить локальные сети и удаленные рабочие станции в единую сеть. Он обеспечивает взаимодействие между этими средами. Мост отвечает только за передачу данных между сегментами локальной сети.

Мосты служат для объединения участков сети, где используются одинаковые протоколы взаимодействия, типы среды передачи и структуры адресации. Они разделяют общую среду передачи данных на логические части и обеспечивают передачу данных между сегментами только в том случае, если они адресованы узлу, принадлежащему этому сегменту. Благодаря этому мост изолирует трафик одного сегмента сети от другого, что способствует повышению общей производительности сети.

Маршрутизатор (англ. router) – это устройство, которое выбирает оптимальный маршрут между различными сегментами сети и обеспечивает передачу данных по нему.

Что определить путь, по которому пересылать данные, маршрутизатор собирает информацию о топологии межсетевых соединений и на ее основании строит таблицу маршрутизации, в которой описывается соответствие между адресами назначения и интерфейсами, через которые следует отправить данные до следующего маршрутизатора. Имея такую таблицу, маршрутизатор может выбрать один из нескольких возможных путей доставки данных адресату.

Еще одной важной функцией маршрутизатора является управление трафиком. Он контролирует передачу данных, обеспечивая балансировку нагрузки и устранение возможных узких мест в сети. Маршрутизаторы также могут применять фильтрацию пакетов для обеспечения безопасности и защиты сети от несанкционированного доступа.

Шлюз (англ. gateway) – это устройство или программное обеспечение, обеспечивающее сопряжение между собой сетей, построенных на основе разных протоколов и технологий.

В настоящее время, в компьютерных сетях, из-за того, что стек протоколов TCP/IP вытеснил всех конкурентов, шлюз зачастую становится синонимом маршрутизатора. Шлюз соединяет сети, а маршрутизатор обычно доставляет данные внутри сети. Их функции часто объединяются.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В учебном пособии рассмотрены базовые понятия сетевых технологий (информации, сигнала, линии и канала связи); история развития вычислительной техники и вычислительных сетей; компоненты, назначение, классификация и топологии вычислительных сетей; основные принципы модели OSI. Кроме того, изложены основные принципы передачи данных в информационно-вычислительных сетях (кодирование сигнал, мультиплексирование и коммутация), основные типы кабелей (коаксиальный, витая пара и волоконно-оптический) и сетевого оборудования.

Надеемся, что материал, предложенный в данном пособии, поможет желающим разобраться в вопросах построения и функционирования вычислительных сетей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. **Большая российская энциклопедия** [сайт]. – URL : <https://bigenc.ru/> (дата обращения: 20.08.2024).
2. **Букатов, А. А.** Компьютерные сети: расширенный начальный курс : учебник для вузов / А. А. Букатов, С. А. Гуда. – СПб. : Питер, 2020. – 496 с.
3. **Гаврилов, М. В.** Информатика и информационные технологии : учебник для СПО / М. В. Гаврилов, В. А. Климов. – 5-е изд., перераб. и доп. – М. : Юрайт, 2024. – 355 с.
4. **Основы информатики** : учебник / Л. Н. Демидов, О. В. Коновалова, Ю. А. Костиков, В. Б. Терновсков. – М. : КноРус, 2023. – 391 с.
5. **Информатика.** Базовый курс : учебник для вузов / под ред. С. В. Симоновича. – 3-е изд. – СПб. : Питер, 2023. – 640 с.
6. **Информация** // Викиучебник [сайт]. – URL : <https://ru.wikibooks.org/wiki/Информация> (дата обращения: 23.08.2024).
7. **Кобылянский, В. Г.** Локальные компьютерные сети. Базовый курс : учебное пособие / В. Г. Кобылянский. – Новосибирск : НГТУ, 2023. – 127 с.
8. **Конкина, В. В.** Сети и телекоммуникационные технологии : учебное пособие / В. В. Конкина, А. Б. Борисенко, И. Л. Коробова. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2023. – 80 с.
9. **Кудинов, Ю. И.** Основы современной информатики : учебное пособие для вузов / Ю. И. Кудинов, Ф. Ф. Пащенко. – 6-е изд., стер. – СПб. : Лань, 2024. – 256 с.
10. **Модель OSI: 7 уровней сетевой модели, их протоколы и функции простыми словами** // vc.ru [сайт]. – URL : <https://vc.ru/dev/844687-model-osi-7-urovnei-setevoi-modeli-ih-protokoly-i-funkcii-prostymi-slovami> (дата обращения: 23.09.2024).
11. **Об информации, информационных технологиях и о защите информации:** Федеральный закон от 27.07.2006 № 149-ФЗ // Официальный интернет-портал правовой информации: [сайт]. – URL : <http://www.pravo.gov.ru> (дата обращения: 20.08.2024).
12. **Олифер, В. Г.** Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. – Юбилейное изд., доп. и испр. – СПб. : Питер, 2024. – 1008 с.
13. **Скворцова, Т. И.** Компьютерные коммуникации и сети : учебно-методическое пособие / Т. И. Скворцова. – М. : РТУ МИРЭА, 2020. – 223 с.
14. **Толковый словарь Ожегова онлайн** [сайт]. – URL : <https://slovarozhegova.ru/> (дата обращения: 20.08.2024).
15. **Урбанович, П. П.** Компьютерные сети : учебное пособие / П. П. Урбанович, Д. М. Романенко. – М., Вологда : Инфра-Инженерия, 2022. – 460 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ	4
1.1. Информация: понятие, классификация, свойства	4
1.2. Вычислительная система: понятие, классификация	12
2. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ И СЕТЕЙ	17
2.1. История развития вычислительной техники	17
2.2. Этапы развития вычислительных сетей	22
3. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СЕТИ	29
3.1. Компоненты и назначение вычислительной сетей	29
3.2. Классификация сетей	33
3.3. Топологии сетей	37
4. ЭТАЛОННАЯ МОДЕЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОТКРЫТЫХ СИСТЕМ	42
4.1. Декомпозиция задачи сетевого взаимодействия	42
4.2. Общая характеристика модели OSI	43
4.3. Уровни модели OSI	46
4.4. Распределение протоколов по элементам сети	50
4.5. Четырехуровневая модель TCP/IP	52
5. СИСТЕМА ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ	56
5.1. Кодирование сигнала	56
5.2. Линия и канал связи: понятие, классификация	59
5.3. Характеристики линии связи	60
5.4. Мультиплексирование и коммутация	64
6. ФИЗИЧЕСКАЯ СРЕДА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ И СЕТЕВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ	68
6.1. Физическая среда передачи данных	68
6.2. Сетевое оборудование	73
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	78
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	79

Учебное электронное издание

БУРЦЕВА Елена Васильевна
ПЛАТЁНКИН Алексей Владимирович
РАК Игорь Петрович

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ, СЕТИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

Учебное пособие

Редактирование И. В. Калистратовой
Графический и мультимедийный дизайнер Т. Ю. Зотова
Обложка, упаковка, тиражирование И. В. Калистратовой

ISBN 978-5-8265-2884-6



Подписано к использованию 06.03.2025.

Тираж 50 шт. Заказ № 43

Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»
392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106, к. 14
Тел./факс (4752) 63-81-08.
E-mail: izdatelstvo@tstu.ru