

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Южный федеральный университет»

**Е.В. Нужнов**

**Компьютерные сети и  
телекоммуникации**

**Учебное пособие**

**Часть 1. Введение в компьютерные сети**

**Ростов-на-Дону**

**2014**

**Рецензенты:**

В.Б. Тарасов – к.т.н., доцент кафедры «Компьютерные системы автоматизации производства» Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана.

Ю.О. Чернышев – Заслуженный деятель науки РФ, д.т.н., профессор кафедры №6 филиала Военной академии Связи МО РФ (г. Краснодар).

Нужнов Е.В. Компьютерные сети и телекоммуникации: Учебное пособие. Часть 1. Введение в компьютерные сети. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2014. – 163 с.

В первой части учебного пособия описаны предмет, цели, задачи, структура и особенности дисциплины, основные понятия и общие сведения о сетях, основы построения сетей, архитектура и стандартизация сетей, требования к современным компьютерным сетям. Изучаются основы передачи дискретных данных: линии связи, методы кодирования и передачи дискретных данных на физическом уровне, методы передачи данных канального уровня, мультиплексирование и коммутация, беспроводная передача информации, первичные сети.

Для студентов направлений 09.03.01 «Информатика и ВТ» (профиль «Системы автоматизированного проектирования») и 09.03.02 «Информационные системы и технологии» (профили «Информационные системы и технологии» и «Информационные технологии в образовании»), а также может использоваться студентами других профилей и направлений, связанных с использованием компьютерных и сетевых информационных технологий.

Табл. 7. Ил. 29. Библиогр.: 35 назв.

## ВВЕДЕНИЕ

### Предмет, цель и задачи дисциплины

**Предмет** изучения – назначение и основные функции, организация и принципы построения, виды, режимы работы, базовые технологии и стандарты, аппаратные и программные средства компьютерных сетей.

**Цель** изучения – получение знаний основ построения, функционирования и использования компьютерных сетей различного масштаба, возможностей их реализации на основе базовых технологий и стандартов.

**Стратегия** изучения. Все рассуждения, положения и выводы лекционного курса следует рассматривать в контексте возможностей повышения эффективности: организации процессов решения задач на сетевом компьютере или в распределенной вычислительной системе (ВС) различного назначения, управления процессами и ресурсами, устройствами, данными, организации процессов автоматизированного проектирования, управления проектировщиками в распределенной среде САПР.

**Задачи** изучения. В результате изучения дисциплины студенты должны:

#### **ЗНАТЬ:**

- назначение, функции, классификацию, принципы построения и функционирования, компоненты, составляющие и варианты структуризации компьютерных сетей;
- многоуровневый подход к разработке средств сетевого взаимодействия, модель OSI и функции ее 7 уровней, концепцию открытых систем, требования к современным компьютерным сетям;
- основы передачи дискретных данных (виды и характеристики линий связи, стандарты кабелей, методы передачи дискретных данных на физическом и канальном уровнях, методы коммутации каналов, пакетов и сообщений);
- базовые технологии локальных сетей (ЛС), их особенности, методы доступа, спецификации, средства физического уровня;
- организацию корпоративных сетей, объединение сетей на основе

протоколов сетевого уровня, принципы и протоколы маршрутизации, стек TCP/IP, адресацию в IP-сетях, протокол TCP, особенности построения и технологии глобальных сетей (ГС);

- основы построения сетевого программного обеспечения (ПО) – архитектуру сетевой операционной системы (ОС), средства поддержки распределенных вычислений;

### **УМЕТЬ:**

- квалифицированно работать на персональном компьютере (ПК) в сетевой среде Windows;
- эффективно организовать процессы доступа к сетевым ресурсам, использовать протоколы SMTP, POP3, FTP;
- работать с программами-клиентами систем электронной почты (Outlook Express, The Bat) , поддержки телеконференций (mIRC), ICQ;

### **ИМЕТЬ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ:**

- о различных сетевых службах;
- о современных стомегабитных, высокоскоростных гигабитных и терабитных, а также беспроводных технологиях ЛС;
- о построении высокопроизводительных каналов первичных ГС с иерархией скоростей (технологиях PDH, SONET/SDH, WDM, DWDM, ISDN);
- о тенденциях развития компьютерных сетей и телекоммуникаций на современном этапе.

При изучении дисциплины предполагается знание студентами основ информатики и вычислительной техники, алгоритмизации, языков программирования, ОС, электротехники. Программа дисциплины рассчитана на 180 часов, из них: 72 часа аудиторных занятий, в том числе 36 часов лекций. Лабораторные работы в объеме 36 часов проводятся в Учебном классе IBM-совместимых компьютеров или терминалов Sun-Ray.

## Структура дисциплины

Введение. Предмет, цель, задачи, структура и особенности дисциплины.

1. Основы сетей передачи данных.
2. Технологии физического и канального уровней.
3. Локальные сети.
4. Сети TCP/IP.
5. Технологии глобальных сетей.
6. Сетевые программные системы.

Заключение. Перспективы развития сетей и телекоммуникаций.

Вопросы, связанные со структурой и информационными услугами территориальных сетей, будут рассматриваться в курсе «Перспективные информационные технологии и среды» (5 семестр). Возможен перенос изучения отдельных вопросов рабочей программы на лабораторные работы или самостоятельную работу под руководством преподавателя.

## Особенности дисциплины

В повседневной жизни **сеть** – это некоторым образом созданное сооружение, которому соответствует чертеж в виде решетки из одинаковых или различных по размерам и конфигурации ячеек. Ячейки в общем случае могут быть трех-, четырех- и многоугольными, иметь перекрестные и дублированные связи между узлами сети (ребра). Изначально главную ценность представляли именно ограниченные формой и размерами ячейки, позволяющие удерживать в них нечто большее по размерам. Но в нашем рассмотрении главную ценность имеют, наоборот, сетеобразующие «нити» – ребра между узлами, по которым можно перемещаться в различных направлениях и передавать информацию. С учетом этого нового назначения «наших» сетей их ячейки (отдельные или даже все) могут быть и незамкнутыми, превращая в последнем случае сеть в цепь или дерево.

При начальном знакомстве с терминологией компьютерных сетей и телекоммуникаций заставляет задуматься уже сам факт нахождения и описания в справочной литературе по информатике, вычислительным

системам и компьютерным сетям целого ряда, на первый взгляд, совершенно разнородных и несвязанных друг с другом, представленных ниже терминов и понятий. На самом деле они имеют самое непосредственное отношение к данной дисциплине. Приведем для начала лишь некоторые из них.

**Теле** – первая составная часть сложных слов, обозначающая процесс, действующий на дальнее расстояние, осуществляемый на расстоянии. **Коммуникация** – связь, общение, взаимодействие людей между собой. **Телекоммуникация** – дистанционная связь и передача данных. Используется даже термин «**телеинформатика**». **Теледоступ** – доступ к удаленным данным. **Сеть** (Network) – средство теледоступа, например, сеть передачи данных или вычислительная сеть, включающая компьютеры. **Трафик** (Traffic) – поток информации в сети передачи данных; рабочая нагрузка линии связи.

А если к упомянутым терминам добавить, например, такие как: телефонный, радио-, оптоволоконный и спутниковый канал, байт, кадр, тайм-слот и обойма данных, квитанция, сокет и еще десятки других, то станет ясно, что перед Вами несомненно актуальная, достаточно сложная, комбинированная, синтетическая, бурно развивающаяся предметная область.

Даже эта малая толика упомянутых понятий показывает, насколько разные аспекты затрагивает данная предметная область. Первая и главная особенность дисциплины состоит в том, что она является глубоко интегрированной, включает сведения из таких изначально несмежных областей, как вычислительная техника, электротехника и оптика, связь и телефония, теории сигналов, передачи информации, кодирования и других, которые следует рассматривать в тесной взаимосвязи и единстве.

Вторая особенность заключается в том, что объектами изучения являются изначально изолированные виды сетей: ЛС, ГС, корпоративные и другие. Рассматриваться с единых позиций построения составных сетей они начали уже после своего появления, в последнее десятилетие, а некоторые – еще позже. Поэтому важнейшим принципом становится изначальное концептуальное согласование всех сетевых понятий и терминов, архитектур и технологий, что возможно только на основе многоуровневого подхода и модели OSI, концепции открытых систем и

модели взаимодействия «клиент-сервер». Предметную область и дисциплину «Сети и телекоммуникации» предлагается изучать на уровне общих фундаментальных концепций и принципов многоуровневого построения и организации сетей, общих внутренних механизмов сетей и базовых технологий их функционирования. Рассматривать их реализацию обычно начинают с базовых технологий ЛС, далее изучают средства сетевого и транспортного уровней для построения составных сетей (в предельном случае – корпоративных). После этого целесообразно изучение мощных средств образования недостающих глобальных связей и соответствующих технологий ГС. Последними изучаются сетевые ОС и программные средства промежуточного слоя Middleware для поддержки распределенных вычислений.

Третья особенность дисциплины вытекает из ее синтетической природы. Она связана с тем, что до недавнего времени материал дисциплины был разрозненным, единая терминология и базовый учебник отсутствовали. К счастью, к 2003 году эти недостатки были исправлены в в первых изданиях [1-2], а на основе этих базовых учебников появилась возможность переосмысления других книг. Четвертое издание [1] дополнено материалами о самых перспективных сетевых технологиях, содержит новую сетевую терминологию и обозначения, соответствует международному уровню обсуждения проблематики компьютерных сетей и телекоммуникаций. Из [1] был заимствован ряд наиболее удачных авторских рисунков и схем, что способствует повышению эффективности самостоятельной проработки и более глубокого изучения материала по этому учебнику.

Первая часть данного учебного пособия представляет собой переработанное и дополненное по сравнению с [3] и частично [4] развернутое введение в рассматриваемую предметную область, охватывает общие принципы построения компьютерных сетей и основы передачи дискретных данных.

Автор выражает признательность заведующему кафедрой САПР д.т.н., профессору В.В. Курейчику за поддержку работы и с благодарностью примет замечания по улучшению качества материала учебного пособия.

## **МОДУЛЬ 1. ВВЕДЕНИЕ В КОМПЬЮТЕРНЫЕ СЕТИ**

Изучение основ сетей передачи данных (общих принципов построения сетей, составляющих обобщенной задачи коммутации, особенностей коммутации каналов, пакетов и сообщений, а также требования к современным сетям) позволяет рассматривать различные сети с единых позиций необходимости эффективной передачи различных порций информации. Изучение концептуальных основ структуризации как средства построения больших сетей, архитектуры и стандартизации сетей, а также основ беспроводных и первичных сетей обеспечивает базу для последующего изучения базовых технологий локальных и глобальных сетей.

### ***Комплексная цель и задачи изучения модуля***

**Цель модуля 1** – дать развернутое представление об основах построения компьютерных сетей, открытых системах и проблемах стандартизации, требованиях к современным компьютерным сетям, основах передачи дискретных данных: линиях связи и кабельных системах, методах передачи дискретных данных на физическом уровне, методах передачи данных канального уровня, методах коммутации, беспроводной передаче информации, первичных сетях.

Успешное изучение учебных материалов позволит продемонстрировать следующий уровень подготовки, позволяющий

### **ЗНАТЬ:**

- назначение, функции, классификацию, принципы построения и функционирования, компоненты, составляющие и варианты структуризации компьютерных сетей;
- многоуровневый подход к разработке средств сетевого взаимодействия, модель OSI и функции ее 7 уровней, концепцию открытых систем, требования к современным компьютерным сетям;

### **УМЕТЬ:**

- квалифицированно работать на персональном компьютере (ПК) в сетевой среде Windows;
- эффективно организовать процессы доступа к сетевым ресурсам;

### **ИМЕТЬ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ**

- о различных сетевых службах;
- о построении высокопроизводительных каналов первичных сетей с иерархией скоростей (технологиях PDH, SONET/SDH, WDM, DWDM).

**Владеть ключевыми понятиями:** вычисления (коллективные, распределенные), сеть (компьютерная, глобальная, локальная, однородная (гомогенная), гетерогенная), открытая система, модель взаимодействия и архитектура «клиент-сервер», региональная (городская) сеть, сеть мегаполиса, сеть отдела, сеть кампуса, корпоративная сеть, сети с децентрализованным, централизованным и распределенным управлением, кодирование (потенциальное, импульсное), топология физическая и логическая, типовые топологии (полносвязная, ячеистая, «общая шина», «звезда», «иерархическая звезда», «кольцо», смешанная), сетевой адрес (числовой, символьный, уникальный, групповой, широковещательный, произвольной рассылки), коммутация (каналов, пакетов, сообщений, постоянная, динамическая), коммутатор, маршрут, информационный поток, маршрутизация, мультиплексирование, демультиплексирование, среда передачи (разделяемая, индивидуальная), дейтаграммная передача, виртуальный канал, повторитель, концентратор, трафик, мост, коммутатор, шлюз, сетевая служба, многоуровневый подход, протокол, интерфейс, стек протоколов, стандартный протокол, модель OSI, сетевой адаптер, спецификация, качество обслуживания, производительность сети (время реакции, пропускная способность, задержка передачи), требования к сетям (надежность, расширяемость, масштабируемость, прозрачность, управляемость, совместимость, поддержка различных видов трафика), физическая среда (проводная, беспроводная), кабель (коаксиальный, витая пара, волоконно-оптический), аппаратура передачи данных, промежуточная аппаратура, гармоника, спектр, ширина спектра, амплитудно-частотная характеристика, полоса пропускания, затухания, помехоустойчивость, достоверность передачи данных, структурированная кабельная система, модуляция (амплитудная, частотная, фазовая, импульсно-кодовая), логическое кодирование, скремблирование, компрессия данных, мультиплексирование (частотное, волновое, временное, статистическое временное, ортогональное частотное), беспроводная система, отражение, дифракция, рассеивание, базовая станция (точка доступа), сота, спутниковая система, технология широкополосного сигнала (FHSS, DSSS), расширяющая последовательность, первичная (опорная) сеть (PDH, SDH, WDM, DWDM), виртуальный контейнер, мультиплексор, спектральный канал, частотный план.

# ГЛАВА 1. ОСНОВЫ СЕТЕЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

## ЦЕЛИ

Освоив эту главу, студенты должны знать:

- основные понятия и общие принципы построения сетей, коммутацию каналов и пакетов;
- структуризацию как средство построения больших сетей, архитектуру и стандартизацию сетей;
- требования, предъявляемые к современным компьютерным сетям.

### 1.1. Основные понятия и общие сведения о сетях

#### 1.1.1. Эволюция компьютерных сетей

Появление компьютерных (ранее – вычислительных) сетей является закономерным результатом эволюции компьютерных технологий. Когда вычислительных и информационных возможностей сосредоточенных ВС стало недостаточно, разработчики начали создавать многопользовательские распределенные системы [1, 5].

Если решаемые задачи являются достаточно объемными и сложными (например, как задачи в САПР), то для их эффективного решения часто используют тот или иной вариант коллективных или распределенных вычислений. Особенностью коллективных вычислений является наличие многих пользователей, а особенностью распределенных вычислений – наличие многих центров обработки (компьютеров). Применительно к компьютерным сетям эти варианты следует рассматривать совместно. Рассмотрим некоторые наиболее значимые вехи эволюции сетей, средств и моделей коллективных и распределенных вычислений, прошедшей 3 следующих этапа.

**Этап 1.** Впервые идея коллективных вычислений была реализована в начале 60-х годов 20-го века на большой ЭВМ (мэйнфрейме), работающей в режиме разделения времени, с помощью подключенных к ней пользовательских терминалов. Так появились первые интерактивные **многотерминальные вычислительные комплексы** или **системы**

**коллективного пользования.** Позднее, вынося терминалы за пределы вычислительного центра, их стали рассредоточивать по всему предприятию. И хотя вычислительная мощность в те годы еще оставалась полностью централизованной, некоторые функции (ввод-вывод) уже стали распределенными. Такие многотерминальные централизованные системы уже были очень похожи на ЛС. Но до появления ЛС было еще далеко, а потребность предприятий в создании сети еще не созрела. В одном здании, имеющем единственную очень дорогостоящую ЭВМ предприятия, в те годы было просто нечего пока еще соединять в сеть [1].

Тем не менее, потребность в соединении компьютеров, находящихся на большом расстоянии друг от друга, к этому времени уже вполне назрела. Вначале была решена более простая задача – доступа к компьютеру с терминалов, удаленных от него на сотни или тысячи километров. Терминалы соединялись с компьютерами через телефонные сети с помощью модемов, а многочисленные пользователи получали удаленный доступ к разделяемым ресурсам нескольких суперкомпьютеров. Затем появились системы, в которых наряду с удаленными соединениями «терминал-компьютер» были реализованы и удаленные связи «компьютер-компьютер». Компьютеры получили возможность обмениваться данными в автоматическом режиме, что явилось первым базовым механизмом любой компьютерной сети. Используя его, в первых сетях были реализованы службы обмена файлами, синхронизации баз данных, электронной почты и другие, сегодня традиционные сетевые службы. Таким образом, первыми появились ГС. Именно для ГС были предложены идеи и разработаны важнейшие концепции современных сетей, например, многоуровневого построения коммуникационных протоколов, коммутации пакетов, маршрутизации пакетов в составных сетях.

**Этап 2.** В начале 70-х годов произошел технологический прорыв в области производства компьютерных компонентов – появились интегральные схемы. Их сравнительно невысокая стоимость и высокие функциональные возможности привели к созданию мини-компьютеров – реальных конкурентов мэйнфреймов. Даже небольшие подразделения предприятий получили возможность приобретать для себя мини-компьютеры. А по мере роста потребностей пользователей их перестало устраивать автономное использование ресурсов компьютеров, появилась

необходимость обмена данными с другими близко расположенными компьютерами. Мини-компьютеры стали соединять вместе и разрабатывать ПО, необходимое для их взаимодействия. Так появились первые ЛС. На первых порах в них использовались самые разнообразные нестандартные устройства сопряжения со своими способами представления данных на линиях связи, своими кабелями и т.п. Подобные устройства могли соединять только те типы компьютеров, для которых они были разработаны.

В середине 80-х годов в ЛС утвердились стандартные технологии объединения компьютеров в сеть – Ethernet, ArcNet, Token Ring. Мощным стимулом их развития послужили **ПК**. Эти доступные массовые компьютеры

- обладали достаточной мощностью для работы на них сетевого ПО;
- явно нуждались в объединении своей вычислительной мощности для решения сложных задач, объединении (разделении между пользователями) дорогих устройств ввода-вывода и дисковых массивов.

Поэтому ПК стали преобладать в ЛС, причем не только в качестве клиентских компьютеров, но и в качестве центров хранения и обработки данных – сетевых серверов, вытеснив оттуда мини-компьютеры и мэйнфреймы. Стандартные сетевые технологии значительно упростили процесс построения ЛС. Для создания простейшей сети достаточно было приобрести сетевые адаптеры соответствующего стандарта (например, Ethernet), стандартный кабель (например, витую пару), присоединить адаптеры к кабелю стандартными разъемами, использовать ОС семейства Windows или установить специализированную сетевую ОС (например, NetWare). После этого ЛС начинала работать, а присоединение нового ПК (до общего их числа 30) не вызывало проблем.

Таким образом, второй моделью стала **однородная (гомогенная) сеть ПК**. Пользователь получал в свое распоряжение ЛС и доступ к ресурсам всей сети. Основная цель сети – обеспечить пользователям сети потенциальную возможность совместного использования ресурсов всех компьютеров. Однако и эта реализация страдала ограниченностью из-за своей однородности. В сети однородных компьютеров имело смысл совместно использовать лишь простейшие ресурсы – прежде всего

файловые системы. Достоинством сетей является и принципиальная возможность распараллеливания вычислений, за счет чего может быть повышена производительность и отказоустойчивость системы.

Успех технологий ЛС во многом связан с появлением качественных кабельных линий связи, на которых даже сетевые адаптеры первого поколения обеспечивали скорость передачи данных до 10 Мбит/с. Конечно, о таких скоростях разработчики ГС в те годы не могли даже мечтать. Им приходилось пользоваться теми каналами связи, которые были в наличии, так как прокладка новых кабельных систем для компьютерных сетей протяженностью в тысячи километров потребовала бы колоссальных капиталовложений. А «под рукой» часто были только телефонные каналы связи, плохо приспособленные для высокоскоростной передачи дискретных данных – скорость в 1200 бит/с была для них достижением. Поэтому экономное расходование пропускной способности каналов связи часто было основным критерием эффективности методов передачи данных в ГС. В этих условиях различные процедуры прозрачного доступа к удаленным ресурсам, стандартные для ЛС, для ГС долго оставались непозволительной роскошью.

**Этап 3.** Наконец, третий современный этап эволюции сформировал третью **гетерогенную модель распределенных вычислений**, которая позволяет любым разнотипным компьютерам совместно работать в сети. Пользователь же имеет возможность решать конкретную задачу на наиболее подходящем для этого компьютере. В его распоряжении сегодня находятся разнообразные вычислительные ресурсы сети, в которой теперь могут присутствовать файловые и вычислительные серверы, графические станции, другие специализированные компьютеры различных аппаратных платформ и производителей. То есть такая распределенная ВС, по сути, уже становится открытой системой.

Сегодня компьютерные сети продолжают интенсивно развиваться. Разрыв между ЛС и ГС постоянно сокращается во многом из-за появления высокоскоростных территориальных каналов связи, не уступающих по качеству кабельным системам ЛС. В ГС появляются службы доступа к ресурсам, такие же удобные и прозрачные, как и службы локальных сетей. Подобные примеры демонстрирует самая популярная ГС – Internet. Развиваются и ЛС, в них вместо пассивного соединяющего компьютеры

кабеля появилось и совершенствуется разнообразное коммуникационное оборудование. Благодаря такому оборудованию появилась возможность построения больших корпоративных сетей, имеющих сложную структуру с тысячами компьютеров. Возродился интерес к крупным компьютерам, когда выяснилось, что ВС, состоящие из сотен серверов, обслуживать сложнее, чем несколько суперкомпьютеров или мэйнфреймов [1].

Наряду с компьютерными сетями к распределенным системам относят также мультипроцессорные компьютеры и многомашинные вычислительные комплексы.

### 1.1.2. Компьютерная сеть и ее основные компоненты

**Компьютерная сеть** – совокупность (система) физически и логически взаимосвязанных компьютеров и коммуникационного оборудования, образующая сложный комплекс взаимосвязанных и согласованно функционирующих аппаратных и программных компонентов [1, 2, 5]. Весь комплекс программно-аппаратных средств компьютерной сети может быть описан простейшей многослойной моделью (рис.1.1).

|                                  |
|----------------------------------|
| 4. Сетевые приложения            |
| 3. Операционные системы          |
| 2. Коммуникационное оборудование |
| 1. Компьютеры                    |

Рис.1.1. Комплекс программно-аппаратных средств сети

В основе любой сети лежит аппаратный слой стандартизованных компьютерных платформ. В настоящее время в сетях широко применяются компьютеры различных классов – от ПК до мэйнфреймов и суперкомпьютеров. Конечно, набор компьютеров в сети и их возможности должны соответствовать набору разнообразных задач, решаемых сетью.

Второй слой – это коммуникационное оборудование, роль которого в последнее время становится ключевой. Кабельные системы, повторители, мосты, коммутаторы, маршрутизаторы и модульные концентраторы из вспомогательных элементов сети превратились в основные наряду с компьютерами и системным ПО как по влиянию на

характеристики сети, так и по стоимости. Сегодня коммуникационное устройство может представлять собой сложный специализированный мультипроцессор, который нужно конфигурировать, оптимизировать и администрировать. Изучение принципов работы коммуникационного оборудования требует знакомства с большим числом протоколов ЛС и ГС.

Третий слой (ОС) образует программную платформу сети. От того, какие концепции управления локальными и распределенными ресурсами положены в основу сетевой ОС, зависит эффективность работы всей сети. При проектировании сети важно учитывать, насколько просто данная ОС может взаимодействовать с другими ОС сети, насколько она обеспечивает безопасность и защищенность данных, до какой степени она позволяет увеличивать число пользователей, можно ли ее перенести на компьютер другого типа и другие соображения.

Самый верхний слой образуют сетевые приложения, такие как сетевые базы данных, почтовые системы, средства архивирования данных, системы автоматизации коллективной работы и другие. Очень важно представлять возможности и последствия их работы, знать степень их совместимости с другими сетевыми приложениями и ОС.

### **1.1.3. Преимущества использования и проблемы организации сетей**

Из принадлежности сетей к распределенным ВС вытекают следующие принципиальные преимущества сетей:

- способность выполнять параллельные вычисления. За счет этого в ВС с несколькими узлами обработки в принципе может быть достигнута производительность, превышающая максимально возможную производительность любого отдельного процессора;
- лучшее соотношение производительность-стоимость, чем у сосредоточенных ВС;
- свобода в территориальном размещении компьютеров и устройств ввода-вывода;
- более высокая отказоустойчивость – способность системы выполнять свои функции при отказах отдельных элементов аппаратуры и неполной доступности данных. Достигается введением избыточности (резервирования);

- большее соответствие распределенному характеру прикладных задач во многих развитых предметных областях (автоматизация проектирования и управления, технологических процессов, обучения, банковская деятельность). Имеются рассредоточенные по некоторой территории потребители информации. Часто они автономно решают свои задачи, поэтому должны иметь собственные вычислительные средства. Но информация используется всеми, поэтому вычислительные средства должны быть объединены в единую систему;
- возможность совместного использования данных и устройств, часто дорогостоящих ресурсов. У пользователя создается иллюзия «единоличного владения» или локальности ресурсов. Такое свойство называется прозрачностью сети;
- возможность гибкого распределения работ по всей системе;
- оперативный доступ к обширной корпоративной информации (возможность ответа на любой вопрос клиента, быстрое и качественное принятие решений);
- возможность эффективного поиска нужных данных (intranet- и Web-технологии);
- совершенствование коммуникаций – улучшение процесса обмена информацией и взаимодействия между потребителями информации (электронная почта заменяет телефон и почту; можно передавать мультимедиа информацию – голос и видео; телеконференции).

**Проблемы организации сетей.** Они в основном связаны с организацией эффективного взаимодействия отдельных частей создаваемой распределенной ВС:

- организация ПО поддержки распределенных вычислений;
- транспортировка сообщений по каналам связи между компьютерами (обеспечение надежности и производительности);
- обеспечение информационной безопасности [1].

#### **1.1.4. Модель взаимодействия и архитектура «клиент-сервер»**

При взаимодействии компьютеров, программных систем (ПС), приложений или вычислительных процессов в сети возможна ситуация, когда общающиеся компьютеры равноправны. Однако, значительно чаще ситуация оказывается несимметричной: один компьютер имеет ресурсы,

которыми другой желает воспользоваться. В этом случае говорят, что имеет место взаимодействие типа «клиент-сервер» (КС). Сервером является компьютер – владелец ресурсов, а клиентом – компьютер – потенциальный потребитель этих ресурсов. Роль ресурсов может играть файловая система компьютера, и тогда образуется файл-сервер, принтер – принт-сервер, процессор – вычислительный сервер, база данных (БД) – сервер БД, программа, приложение – сервер приложений, графический экран – сервер дисплея, а также многое другое [1, 5].

Деление на клиента и сервер не абсолютно. Компьютер, играющий в одном случае роль сервера, может выступать в роли клиента в другом. Например, программа, работающая на мэйнфрейме, может выступать в роли клиента при общении с сервером дисплея на рабочей станции, где она отображает результаты расчетов. Тот же мэйнфрейм в этот же момент времени может выступать в роли вычислительного сервера для программы-клиента на рабочей станции, обращающейся к нему для выполнения расчета. Серверами и клиентами могут быть и сами компьютеры, и работающие на них программы. Таким образом, архитектура КС предоставляет исключительную свободу выбора и согласования различных типов компонентов для клиента, сервера и всех промежуточных звеньев.

Недостатки архитектуры КС:

- дополнительное усложнение системы;
- надо понимать основные идеи организации среды КС;
- надо знать ПС и компоненты, поддерживающие архитектуру КС.

Достоинства архитектуры КС: используя множество недорогих ПК, можно значительно увеличить вычислительную мощность ВС, распределяя прикладную задачу по разным ПК и серверам так, что каждый берет на себя свою часть вычислительной нагрузки, совместно используя общую информацию в сети. Причем, мощность ВС повышается, не наращивая производительность одного ПК, а суммируя ресурсы многих ПК в сети.

Архитектура КС дает больше самостоятельности пользователям в выборе разных вариантов решения своей задачи в сети. Используются многочисленные варианты архитектуры КС, особенности ПО которых рассмотрены в главе 6.

### 1.1.5. Классификация компьютерных сетей

Используются следующие классификационные признаки [1] (табл.1).

1. По протяженности разделяют:

- ЛС, расположенные на небольшой территории – длиной (или в диаметре) от нескольких метров до нескольких километров. В общем случае ЛС представляет собой коммуникационную систему, принадлежащую одной организации. Из-за коротких расстояний имеется возможность использования относительно дорогих высококачественных линий связи, позволяющих простыми методами передачи данных достигать высоких скоростей обмена данными порядка 100 Мбит/с. Поэтому услуги ЛС отличаются широким разнообразием и обычно реализуются в режиме on-line;

Таблица 1

| Классы сетей                                  |                                             |                                       |                              |
|-----------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------|
| По протяженности                              | По масштабу производственного подразделения | По способу управления                 | По способу коммутации        |
| ЛС                                            | Сети отделов                                | Сети с децентрализованным управлением | Сети с коммутацией пакетов   |
| ГС                                            | Сети кампусов                               | Сети с централизованным управлением   | Сети с коммутацией каналов   |
| Региональные (городские) или сети мегаполисов | Корпоративные сети                          | Сети с распределенным управлением     | Сети с коммутацией сообщений |

- ГС – объединяют компьютеры, расположенные в различных городах и странах. В ГС часто используются уже существующие линии связи (телефонные, телеграфные). Из-за низких скоростей таких линий связи (десятки Кбит/с) в ГС набор предоставляемых услуг обычно ограничивается передачей файлов (в фоновом режиме с использованием электронной почты). Для устойчивой передачи дискретных данных по некачественным линиям связи применяются методы и оборудование, существенно отличающиеся от используемых в ЛС. Как правило, здесь применяются сложные процедуры контроля и

восстановления данных, так как наиболее типичный режим передачи данных по территориальному каналу связи сопряжен со значительными искажениями сигналов;

- региональные (городские) сети или сети мегаполисов. Они являются менее распространенным типом сетей, появились сравнительно недавно и предназначены для обслуживания территории крупного города – мегаполиса. Они занимают промежуточное положение между ЛС и ГС: используют цифровые магистральные линии связи (часто оптоволоконные) со скоростями от 45 Мбит/с и предназначены для связи многих ЛС в масштабах города и соединения их с различными ГС. Эти сети первоначально были разработаны для передачи данных, но сейчас поддерживают видеоконференции, интегральную передачу голоса и текста. Сети мегаполисов являются общественными, поэтому их услуги обходятся дешевле, чем построение собственной (частной) сети в пределах города. При расстояниях в десятки километров между узлами они обладают качественными линиями связи и высокими скоростями обмена, даже более высокими, чем ЛС. При их построении уже существующие линии связи не используются, а прокладываются заново.

Последние два вида сетей, в отличие от ЛС, называются территориальными.

2. По масштабу производственного подразделения, в пределах которого действует сеть, выделяют:

- сети отделов. Они объединяют до 30 компьютеров (100-150) сотрудников, решающих общие задачи, в основном с целью разделения дорогостоящих периферийных устройств, приложений и данных; имеют 1-2 файловых сервера и обычно не разделяются на подсети. В этих сетях локализуется большая часть трафика предприятия. Сети отделов обычно создаются на основе какой-либо одной технологии ЛС (например, Ethernet) и используют 1-2 типа совместимых ОС. Задачи управления сетью отдела довольно просты: добавление новых пользователей, устранение простых отказов, установка новых узлов и версий ПО. Такой сетью может заниматься любой сотрудник по совместительству. При числе компьютеров – 10-20 более правильно рассматривать их как сети рабочих групп;
- сети кампусов (от слова campus – студенческий городок). Название

подчеркивает необходимость объединения нескольких мелких сетей в одну большую сеть, которая часто возникала на территории университетских городков. Такие сети объединяют сети отделов в пределах отдельного здания или одной территории площадью в несколько квадратных километров с целью взаимодействия, доступа к ресурсам сетей других отделов, общим БД предприятия, факс-серверам, высокоскоростным модемам и принтерам. Типы компьютеров, сетевых ОС, сетевого аппаратного обеспечения могут различаться. При этом глобальные соединения не используются, но могут возникать проблемы интеграции и управления неоднородным аппаратным и программным обеспечением, что требует более высокой квалификации администратора;

- корпоративные сети (сети масштаба предприятия) – объединяют большое число компьютеров на всех территориях отдельного предприятия. Они могут быть сложно связаны и покрывать город, регион или даже континент. Число компьютеров и пользователей – тысячи, число серверов – сотни, расстояния между сетями отдельных территорий могут оказаться такими, что становится необходимым использование глобальных связей. Для соединения удаленных ЛС и отдельных компьютеров в корпоративной сети применяются разнообразные телекоммуникационные средства (телефонные и радиоканалы, спутниковая связь). Корпоративная сеть охватывает «островки ЛС», функционирующие в общей телекоммуникационной среде. Непременным атрибутом такой сложной и крупномасштабной сети является высокая степень гетерогенности (типы компьютеров, коммуникационного оборудования, ОС и приложений различны). Поэтому для нее могут возникать очень сложные задачи защиты и администрирования (доступа, учета прав пользователей), существенно повышаются требования к ее производительности. По мере увеличения масштабов сети увеличиваются и ее функциональные возможности. По сети циркулирует все возрастающее количество данных, и сеть должна обеспечивать их безопасность и защищенность наряду с доступностью (то есть противоречивые с позиции скорости показатели). Соединения, обеспечивающие взаимодействие, должны быть более прозрачными. При каждом переходе на следующий уровень сложности компьютерное оборудование сети становится все более разнообразным, а

географические расстояния увеличиваются, делая достижение целей более сложным; более проблемным и дорогостоящим становится управление такими соединениями.

3. По способу управления различают [1-2]:

- сети с децентрализованным управлением (равно- или одноранговые, сбалансированные). В них узлы равноправны, могут быть и серверами, и клиентами;
- сети с централизованным управлением («первичный – вторичный», «клиент-сервер», несбалансированные). В них выделяются один или несколько узлов (центральные, Host, первичные, серверы), выполняющие управляющие и специальные функции. Остальные узлы (клиенты) являются терминальными, в них работают пользователи. Выделяют односерверные и многосерверные сети;
- сети с распределенным управлением. Сравнительно новый вид сетей, где управление распределено между всеми или несколькими серверами сети. Программно организуются распределенные мультисерверы, каждый из которых объединяет несколько реальных серверов и заставляет их работать как единое целое.

4. По способу коммутации передаваемых данных различают сети с коммутацией каналов и пакетов.

Все рассмотренные сети можно упрощенно разделить на две категории:

- простые сети – сегменты ЛС, связывающие до 30 компьютеров без дополнительной аппаратуры;
- составные (большие) сети – сети, состоящие из нескольких сегментов или подсетей; структурированные ЛС и ГС, а также их объединения, построенные с использованием специальной коммутирующей аппаратуры.

## **1.2. Общие проблемы и принципы построения сетей**

### **1.2.1. Физическая передача данных по линиям связи**

**Способы кодирования.** Внешние линии связи компьютеров отличаются от внутренних гораздо большей протяженностью и тем, что

они проходят вне экранированного корпуса по пространствам, зачастую подверженным воздействию сильных электромагнитных помех. Поэтому для надежного распознавания импульсов на приемном конце линии связи при передаче данных внутри и вне компьютера не всегда можно использовать одни и те же скорости и способы кодирования. Например, медленное нарастание фронта импульса из-за высокой емкостной нагрузки линии требует передачи импульсов с меньшей скоростью, чтобы передний и задний фронты соседних импульсов не перекрывались, и импульс успел дорасти до требуемого уровня.

В компьютерных сетях применяют потенциальное и импульсное кодирование дискретных двоичных данных (рис.1.2, а, б соответственно), а также специфический способ представления данных – модуляцию, когда дискретная информация представляется синусоидальным сигналом той частоты, которую хорошо передает имеющаяся линия связи (рис.1.2, в) [1, 5].

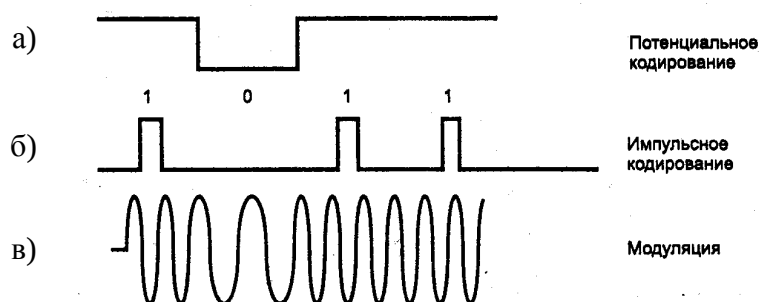


Рис.1.2. Кодирование и модуляция

Потенциальное или импульсное кодирование применяется на каналах высокого качества, а модуляция на основе синусоидальных сигналов предпочтительнее, если канал вносит сильные искажения в передаваемые сигналы. Обычно модуляция используется в ГС при передаче данных через аналоговые телефонные каналы связи, подходящие только для передачи голоса.

**Число проводов.** На способ передачи сигналов влияет и число проводов в линиях связи между компьютерами. Для снижения стоимости линий связи уменьшают число проводов и применяют не параллельную передачу одного или нескольких байтов, как это делается внутри компьютера, а последовательную, побитную передачу, требующую всего одной пары проводов.

**Взаимная синхронизация** передатчика одного компьютера с приемником другого – еще одна проблема передачи сигналов. Внутри компьютера подобная проблема решается с помощью общего тактового генератора. При связи компьютеров проблема синхронизации может решаться разными способами, например, с помощью

- обмена специальными тактовыми синхроимпульсами по отдельной линии;
- периодической синхронизации заранее обусловленными кодами или импульсами характерной формы, отличной от формы импульсов данных.

**Надежность передачи данных** между компьютерами. Для ее повышения часто используется стандартный прием – подсчет отправителем так называемой контрольной суммы и передача ее по линии после некоторого блока байтов. Часто используется и сигнал-квитанция, который подтверждает правильность приема данных и посылается от получателя отправителю.

Задачи надежного обмена двоичными кодами, представленными соответствующими электромагнитными сигналами, в компьютерных сетях решает определенный класс оборудования. В локальных сетях это **сетевые адаптеры**, а глобальных сетях – **аппаратура передачи данных**, к которой относятся, например, устройства, выполняющие модуляцию и демодуляцию дискретных сигналов – **модемы**. Это оборудование кодирует и декодирует каждый информационный бит, синхронизирует передачу электромагнитных сигналов по линиям связи, проверяет правильность передачи по контрольной сумме и может выполнять некоторые другие операции. Сетевые адаптеры рассчитаны, как правило, на работу с конкретной **передающей средой** – коаксиальным кабелем, витой парой, оптоволоком и т.п. Каждый тип передающей среды обладает определенными электрическими характеристиками, влияющими на способ ее использования, и определяет скорость передачи сигналов, способ их кодирования и некоторые другие параметры.

### 1.2.2. Организация связи нескольких компьютеров

**Топология физических связей.** Топология компьютерной сети – это конфигурация графа, вершины которого представляют сетевые

компьютеры (станции, узлы) или другое оборудование (например, концентраторы), а ребра – физические связи между ними. **Физическая топология** (конфигурация физических связей) определяется электрическими соединениями компьютеров между собой и может отличаться от **логической топологии** (конфигурации логических связей и информационных потоков между узлами сети). Логические связи представляют собой реальные маршруты передачи данных между узлами сети и образуются путем соответствующей настройки коммуникационного оборудования.

Выбор топологии электрических связей существенно влияет на многие характеристики сети. Например, наличие резервных связей повышает надежность сети и делает возможной балансировку (выравнивание) загрузки отдельных каналов. Простота присоединения новых узлов, свойственная некоторым топологиям, делает сеть легко расширяемой. Экономические соображения часто приводят к выбору топологий с минимальной суммарной длиной линий связей.

Наиболее часто применяются следующие типовые топологии (рис.1.3) [1, 5]:

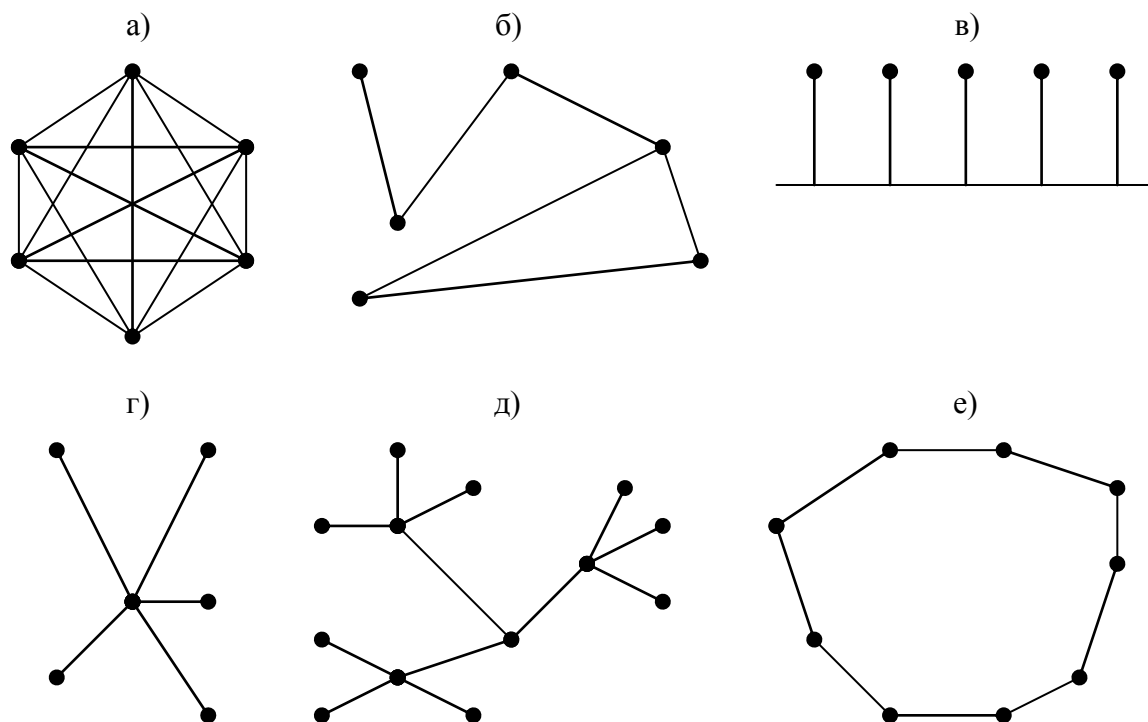


Рис.1.3. Типовые топологии

- полносвязная – ей соответствует полный граф (рис.1.3, а). Это

громоздкая и неэффективная топология, требующая для каждого ребра графа отдельной электрической линии связи, для каждой вершины графа (компьютера) – множества коммуникационных портов по числу связей. Применяется реже остальных, например, в многомашинных комплексах или глобальных сетях при малом числе компьютеров. Это единственная топология, не требующая транзитной передачи данных через другие промежуточные узлы сети;

- ячеистая (mesh) – получается из полносвязной удалением некоторых ребер (рис.1.3, б). В ней непосредственно связаны только те компьютеры, между которыми ожидается интенсивный обмен данными. Обмен между остальными компьютерами производится через промежуточные узлы. Ячеистая топология допускает соединение большого числа компьютеров и характерна, как правило, для глобальных сетей;
- «общая шина» (магистраль, шлейфовое подключение, daisy-цепь – гирлянда) – очень распространенная топология локальных сетей (рис.1.3, в). Компьютеры подключаются к одному коаксиальному кабелю по схеме «монтажного ИЛИ». Передаваемая информация может распространяться в обе стороны. Ее достоинства: низкая стоимость и простота разводки кабеля по помещениям, минимальная длина кабеля; недостатки: низкая надежность (любой нередкий дефект кабеля или одного разъема полностью парализует всю сеть), невысокая производительность (в любой момент времени только один компьютер может передавать данные в сеть);
- «звезда» (рис.1.3, г). Каждый компьютер подключается отдельным кабелем к общему центральному устройству – концентратору, направляющему передаваемую одним компьютером информацию дальше: другому или всем остальным компьютерам сети. Главное преимущество перед общей шиной – намного более высокая надежность. Любые дефекты кабеля здесь касаются только одного компьютера, и только неисправность самого концентратора может вывести из строя всю сеть. Концентратор может играть и роль фильтра информации, поступающей от узлов в сеть, блокируя запрещенные администратором передачи. Недостатки: более высокая стоимость сетевого оборудования, включающая стоимость концентратора, ограниченное число компьютеров по числу (8, 16, 24, ...) портов

концентратора;

- «иерархическая звезда» (звездообразное дерево) – развитие топологии «звезда», когда используется несколько концентраторов, соединенных друг с другом иерархически (каскадами) (рис.1.3, д). В настоящее время иерархическая звезда является самым распространенным типом топологии связей как в локальных, так и в глобальных сетях;
- «кольцо» (рис.1.3, е). Компьютеры соединены последовательно и образуют замкнутую цепь – однонаправленный замкнутый канал связи. Данные передаются по кольцу, и если компьютер распознает их как «свои», то принимает их. Отключение любой станции может разорвать цепь, для исключения чего разработаны специальные устройства. Станция-отправитель может контролировать доставку, ожидая по кольцу получения признака-квитанции;
- смешанная (рис.1.4). Она включает отдельные произвольно связанные фрагменты (подсети) выше рассмотренных типовых топологий.

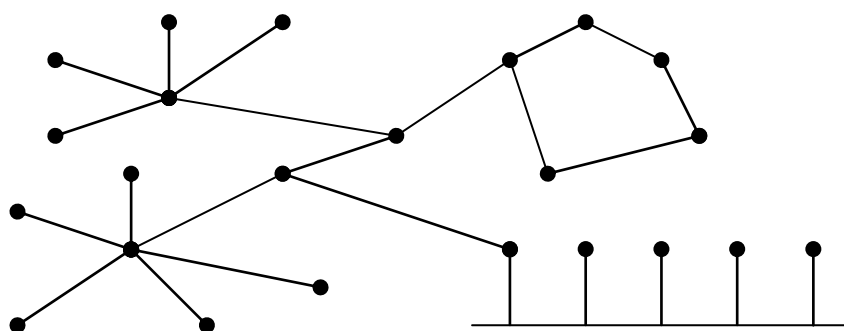


Рис.1.4. Смешанная топология

**Адресация узлов сети.** Еще одной проблемой при объединении трех и более компьютеров и других сетевых устройств является проблема их адресации, точнее адресации их сетевых интерфейсов. В самом общем случае компьютер или иное сетевое устройство может иметь один или несколько сетевых интерфейсов [1, 5].

По числу адресуемых интерфейсов выделяют адреса:

- уникальные (unicast) – используются для идентификации отдельных интерфейсов (узлов);
- групповые (multicast) – идентифицируют сразу интерфейсы нескольких узлов сети – группы (каждый из узлов, входящих в группу);
- широковещательные (broadcast) – идентифицируют интерфейсы всех

узлов сети (все узлы сети);

- произвольной рассылки (anycast) – как и групповые, задают группу адресов, но посланные по такому адресу данные должны быть доставлены не всем интерфейсам (узлам) группы, а лишь любому из них.

Адреса могут быть **числовыми** (129.34.43.255 или 00046141dd23) и **символьными** ([www.microsoft.com](http://www.microsoft.com) или [nev@tgn.sfedu.ru](mailto:nev@tgn.sfedu.ru)).

Множество всех адресов, которые допустимы в рамках определенной схемы адресации, называется **адресным пространством**. Адресное пространство может иметь **плоскую** (линейную) или **иерархическую** (составную, с вложенными друг в друга подгруппами) организацию.

К адресу узла сети и схеме его назначения предъявляют следующие общие требования:

- адрес должен уникально идентифицировать компьютер в сети любого масштаба;
- схема назначения адресов должна сводить к минимуму ручной труд администраторов и исключать дублирование адресов;
- адрес должен иметь иерархическую структуру, удобную для построения составных сетей. Например, при пересылке писем между странами достаточно только названия страны в иерархии адреса. Отсутствие иерархии адреса в больших сетях вызовет необходимость работы с таблицами адресов, состоящими из тысяч записей;
- адрес должен быть удобен для пользователей сети, для чего он должен иметь символьное представление. Например, Server3 или [www.tsure.ru](http://www.tsure.ru);
- адрес должен иметь по возможности компактное представление, чтобы не перегружать память коммуникационной аппаратуры – сетевых адаптеров, маршрутизаторов и т.п.

Видно, что упомянутые требования противоречивы для иерархических, символьных и числовых адресов. Так как все перечисленные требования трудно совместить в рамках одной схемы адресации, то на практике обычно используется сразу несколько схем так, что компьютер одновременно имеет несколько адресов-имен. Каждый вид адресации используется, когда он наиболее удобен. А чтобы не возникало путаницы с адресами, используются специальные средства

сопровождения и преобразования адресов.

Наибольшее распространение получили 3 схемы адресации узлов:

- аппаратные адреса. Они предназначены для сравнительно небольших сетей и не имеют иерархической структуры. Например, адрес сетевого адаптера локальной сети задается и используется аппаратурой автоматически – компактное двоичное или шестнадцатеричное число. Недостатки: отсутствие иерархии, при замене сетевого адаптера меняется и адрес компьютера, при использовании нескольких сетевых адаптеров компьютер получает несколько адресов, что не всегда удобно пользователям;
- символьные адреса или имена. Они предназначены для запоминания людьми и поэтому несут смысловую нагрузку, используются в любых сетях. В больших сетях удобно использовать сложные (полные) иерархические адреса, в небольших – краткие младшие составляющие полных адресов;
- числовые составные адреса. Переменный формат и большая длина символьных имен делает не экономичной их передачу по сети. Поэтому для работы в больших сетях часто используют числовые составные адреса фиксированного компактного формата. Например, межсетевой протокол (**Internet Protocol, IP**) использует IP-адреса. В IP версии 4 (**IPv4**) поддерживается двухуровневая иерархия, адрес содержит старшую часть – номер сети и младшую – номер хоста (узла). Такое деление позволяет передавать сообщения между сетями только по адресу сети, а номер узла начинает использоваться только после доставки сообщения в нужную сеть. Для повышения эффективности маршрутизации в крупных сетях предлагаются более современные и сложные варианты числовой адресации, когда адрес делится на три и более составляющих. Пример: протокол IPv6 для Internet.

В современных больших составных сетях для адресации узлов применяются, как правило, одновременно все три рассмотренные схемы. Пользователи адресуют компьютеры символьными именами, которые в передаваемых по сети сообщениях автоматически заменяются числовыми номерами. С этими числовыми номерами сообщения передаются между сетями, а после доставки в сеть назначения вместо числового номера начинает использоваться аппаратный адрес компьютера. Так (избыточно!) производится адресация компьютеров даже в небольших сетях, чтобы не

пришлось менять состав ОС при включении этих сетей в большие сети.

Проблема установления соответствия друг другу адресов различных типов, чем занимается служба разрешения имен, может решаться как полностью централизованными, так и распределенными средствами. При централизованном подходе в сети выделяется один компьютер – **сервер имен**, в котором хранится таблица соответствия друг другу имен различных типов (символьных имен и числовых номеров). Компьютеры обращаются к серверу имен, чтобы по символьному имени найти числовой номер искомого компьютера. Наиболее известной службой централизованного разрешения имен является служба Domain Name Service (**DNS**) Internet.

При распределенном подходе каждый компьютер сам решает свою задачу соответствия имен. Например, если пользователь ЛС указал числовой номер узла назначения, то до передачи компьютер-отправитель посылает всем компьютерам ЛС широковещательное сообщение с просьбой опознать этот номер. Все компьютеры вынуждены обрабатывать это сообщение, сравнивая свой номер с присланным номером. Но лишь компьютер с совпавшим номером посылает ответ, содержащий свой аппаратный адрес, после чего становится возможной отправка ему сообщений по ЛС. Распределенный подход не требует организации сервера имен и задания вручную таблицы соответствия имен. Но его недостатком является необходимость широковещательных сообщений, перегружающих сеть. Поэтому распределенный подход используется только в небольших ЛС. В крупных сетях распространение широковещательных сообщений по всем их сегментам становится практически нереальным.

**Коммутация.** После того, как компьютеры связаны между собой в соответствии с некоторой топологией и выбрана система их адресации, остается нерешенной самая важная проблема: каким способом передавать данные между конечными узлами? Если топология сети не полно связная, то обмен данными между любой парой конечных узлов должен идти в общем случае через определенные транзитные узлы. Например, в сети, показанной на рис.1.5, непосредственно не связанные узлы 1 и 13 вынуждены передавать данные через транзитные узлы 4 и 9. Узел 1 должен выполнить передачу данных с интерфейса А на интерфейс В, а

узел 9 – с интерфейса С на интерфейс D. Соединение конечных узлов через сеть транзитных узлов называют **коммутацией**. Последовательность транзитных узлов (сетевых интерфейсов), лежащих на пути от отправителя к получателю, образует **маршрут** [1, 5].

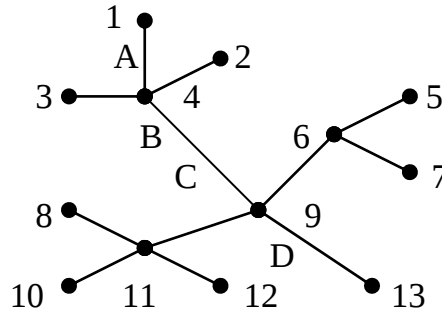


Рис.1.5. Транзитная передача данных

### 1.2.3. Обобщенная задача коммутации

В самом общем виде задача соединения конечных узлов через сеть транзитных узлов называется обобщенной задачей коммутации. Она включает следующие четыре взаимосвязанные частные задачи:

- 1) определение информационных потоков, для которых требуется прокладывать пути;
- 2) маршрутизация потоков;
- 3) продвижение потоков, то есть распознавание потоков и их локальная коммутация на каждом транзитном узле;
- 4) мультиплексирование и демultipлексирование потоков [1].

**1. Определение информационных потоков.** Через один транзитный узел (рис.1.5) может проходить несколько маршрутов. Поэтому транзитный узел должен уметь распознавать входящие потоки данных, чтобы обрабатывать их передачу именно на ведущий к нужному узлу-получателю интерфейс. **Информационным потоком** (поток данных) называют непрерывную последовательность байтов, объединенных набором общих признаков, выделяющих его из общего трафика. Поток может разделяться на подпотоки с разными целями.

Обязательным признаком является адрес узла назначения данных. Поэтому весь поток входящих в транзитный узел данных должен разделяться как минимум на подпотоки, имеющие различные узлы назначения. Тогда каждой паре конечных узлов будет соответствовать

только один поток и один маршрут. Но в общем случае этот поток может быть представлен несколькими разными подпотоками, причем для каждого из них может быть проложен свой особый маршрут с требуемыми характеристиками (высокая пропускная способность, минимальные задержки и т.п.). Кроме того, даже для данных, предъявляющих к сети одинаковые требования, может прокладываться несколько маршрутов, чтобы за счет распараллеливания добиться одновременного использования различных каналов связи и тем самым ускорить передачу данных.

Признаки потока разделяются на

- глобальные – однозначно определяют поток в пределах всей сети. Пример: пара уникальных адресов конечных узлов;
- локальные – действуют в пределах одного транзитного узла. Пример: номер (идентификатор) интерфейса устройства, с которого поступили данные. Узел 9 (рис.1.5) может быть настроен так, чтобы передавать данные, поступившие с интерфейса С, на интерфейс D. Такое правило позволит отделить поток из узла 4 от всех остальных и направить его на узел 13.

Существует особый тип признака – метка потока. Бывают метки глобальные, уникально определяющие поток в пределах всей сети, и локальные, динамически меняющие свое значение в узлах.

Таким образом, при распознавании потоков во время коммутации в общем случае должны учитываться не только адреса назначения данных, но и другие их признаки, влияющие на маршрут перемещения данных по сети.

**2. Маршрутизация.** Задача маршрутизации включает в себя две подзадачи: определение маршрута; оповещение сети о выбранном маршруте.

Определение маршрута – сложная задача, особенно когда между парой взаимодействующих сетевых интерфейсов существует множество путей, из которых требуется выбрать один или несколько оптимальных по некоторому критерию. Среди критериев оптимальности используются: номинальная пропускная способность; загруженность каналов связи; задержки в каналах; число промежуточных транзитных узлов; надежность каналов и транзитных узлов. Но даже в случае, когда между конечными

узлами существует только один путь, его нахождение может при сложной топологии и в реальных условиях функционирования сети представлять нетривиальную задачу. Маршрут может определяться вручную или автоматически. На практике для уменьшения вычислительной работы ограничиваются поиском не оптимального в математическом смысле, а некоего **рационального** (близкого к оптимальному) маршрута. Это касается, прежде всего, случая, когда задача выбора маршрута формулируется как сложная задача многокритериальной оптимизации.

Оповещение сети о выбранном маршруте. После определения маршрута информация о нем передается всем устройствам сети. Сообщение о маршруте должно нести каждому транзитному устройству по сути следующее: «Запомните, если придут данные потока **n**, то нужно передать их на интерфейс **F**». Это сообщение обрабатывается устройством, в результате чего в его специальной таблице коммутации создается новая запись, где локальному или глобальному признаку потока (метке, номеру входного интерфейса, или адресу назначения) ставится в соответствие номер (выходного) интерфейса, на который устройство должно передавать данные, относящиеся к этому потоку.

**3. Продвижение потоков.** Далее должно произойти соединение (**коммутация**) абонентов. Для каждой пары абонентов эта операция может быть представлена совокупностью нескольких (по числу транзитных узлов) локальных операций коммутации. Отправитель должен выставить данные на тот свой интерфейс, из которого выходит найденный маршрут, а все транзитные узлы должны соответствующим образом передать данные с одного своего интерфейса на другой (выполнить коммутацию интерфейсов). Устройство, функциональным назначением которого является выполнение коммутации, называется **коммутатором** (switch). Коммутатор выполняет коммутацию нескольких различных входящих в его интерфейсы информационных потоков, направляя их в соответствующие выходные интерфейсы. Но предварительно коммутатор должен распознать поток, выявляя в поступивших данных наличие признаков какого-либо из потоков, описанных в его таблице коммутации. И если произошло совпадение, поступившие данные направляются на тот интерфейс, который был специально определен для них в маршруте.

Коммутатором в широком смысле можно назвать устройство любого типа, способное выполнять операции переключения потока данных с

одного своего интерфейса на другой. Коммутатором может быть как специализированное устройство, так и универсальный компьютер со встроенным программным механизмом коммутации (программный коммутатор). При этом компьютер совмещает функции коммутации с функциями конечного узла. Но во многих случаях более рациональным является решение, когда некоторые узлы сети специально выделяются только для выполнения коммутации. Эти узлы образуют так называемую коммутационную сеть, к которой подключаются все остальные (конечные) узлы.

**4. Мультиплексирование и демультиплексирование.** Как правило, операцию коммутации сопровождает мультиплексирование (multiplexing) – образование из нескольких составляющих потоков общего агрегированного потока, который можно передавать по одному физическому каналу связи. Причем распознавание потоков коммутатором должно производиться независимо от того, поступает ли единственный поток или «смешанный» в результате агрегирования нескольких потоков. В последнем случае к задаче распознавания добавляется задача демультиплексирования – разделения суммарного агрегированного потока на составляющие его потоки. В любой сети операции мультиплексирования/демультиплексирования так же важны, как и операция коммутации, поскольку без них пришлось бы все коммутаторы связывать большим числом параллельных каналов, сведя на нет все преимущества неполно связной сети [1, 5].

Мультиплексирование является способом обеспечения доступности имеющихся физических каналов одновременно для нескольких сеансов связи между абонентами сети. Существует множество способов мультиплексирования потоков в одном физическом канале, важнейшим из которых является разделение времени. При этом каждый поток по очереди получает на квант времени физический канал в свое распоряжение и передает свои данные. Очень распространено также частотное разделение канала, когда каждый поток передает свои данные в специально выделенном ему частотном диапазоне.

Частным случаем коммутатора, у которого все входящие информационные потоки коммутируются на один выходной интерфейс, где мультиплексируются в один агрегированный поток и направляются в

один физический канал, является мультиплексор (multiplexer, MUX). Демультиплексор – коммутатор, имеющий наоборот один входной интерфейс и несколько выходных.

**Разделяемая среда передачи данных.** Любая топология, кроме полносвязной, требует организации совместного использования (разделения) линий связи несколькими сетевыми компьютерами. При этом возникают проблемы обеспечения нужного качества при подключении к одному кабелю нескольких приемников и передатчиков, а также логические проблемы разделения времени доступа к линии. Из-за этого процедуры согласования доступа к линии связи могут занимать много времени, приводя к снижению производительности сети. Но, несмотря на все сложности, в локальных сетях разделяемые линии связи используются очень часто (например, классические технологии Ethernet, Token Ring, FDDI). Однако в последние годы, в борьбе за производительность, наметилась тенденция отказа от разделяемых сред передачи данных и в локальных сетях. Например, разработчики технологии Gigabit Ethernet, принятой в 1998 году в качестве нового стандарта, включили режим разделения передающей среды в свои спецификации уже наряду с режимом работы по индивидуальным линиям связи [1, 5].

В звездообразных топологиях конечные узлы могут подключаться индивидуальными линиями связи к коммутатору. В ГС коммутаторы использовались изначально, в ЛС – с начала 90-х годов. Конечно, коммутаторы приводят к существенному удорожанию локальной сети, что пока ограничивает их применение. Но по мере снижения стоимости коммутации этот подход, возможно, вытеснит разделяемые линии связи. Следует уточнить также и то, что индивидуальными здесь являются только линии вида «узел-коммутатор», а линии вида «коммутатор-коммутатор» остаются разделяемыми, так как по ним передаются сообщения разных конечных узлов.

В глобальных сетях большие временные задержки распространения сигналов принципиально ограничивают применимость техники разделения линии связи. А компьютеры могут на выяснение очередности доступа к линии связи затратить больше времени, чем на саму передачу данных по этой линии. Но это не относится к линиям вида «коммутатор-коммутатор», где только два коммутатора борются за доступ к линии,

существенно упрощая задачу организации ее совместного использования.

Существуют различные способы решения задачи организации совместного доступа к разделяемым линиям связи. Одни из них используют централизованный подход, когда доступом управляет специальное устройство – арбитр, другие – децентрализованный.

**Типы коммутации.** В общем случае все рассмотренные частные задачи, входящие в обобщенную задачу коммутации, являются взаимосвязанными и взаимозависимыми. Поэтому весь комплекс технических решений обобщенной задачи коммутации составляет базис любой сетевой технологии. От того, какой механизм прокладки маршрутов, продвижения данных и совместного использования каналов связи заложен в той или иной сетевой технологии, зависят ее фундаментальные свойства.

Сегодня среди многих возможных подходов к решению задачи коммутации абонентов в сетях выделяют два основополагающих:

- коммутация каналов. Единицей коммутации здесь является информационный поток в целом;
- коммутация пакетов.

Сети с коммутацией каналов имеют более богатую историю, произошли от первых телефонных сетей. Сети с коммутацией пакетов сравнительно молоды, появились в конце 60-х годов в результате экспериментов с ГС. Считается, что перспективной является более гибкая и универсальная технология коммутации пакетов [1, 5].

### **1.3. Коммутация каналов и пакетов**

#### **1.3.1. Коммутация каналов**

При коммутации каналов в коммутационной сети между конечными узлами образуется непрерывный составной физический канал из последовательно соединенных коммутаторами промежуточных канальных участков. Условием того, что несколько физических каналов при последовательном соединении образуют единый физический канал, является равенство скоростей передачи данных в каждом из составляющих физических каналов. Равенство скоростей означает, что

коммутаторы такой сети не должны временно сохранять в буфере (буферизовать) передаваемые данные.

В сети с коммутацией каналов перед передачей данных всегда необходимо выполнить процедуру установления соединения, в процессе которой и прокладывается составной канал, после чего только и можно передавать данные [1, 5].

Достоинства техники коммутации каналов:

- постоянная и известная скорость передачи данных по установленному каналу, что позволяет пользователю на основе предварительной оценки требуемой пропускной способности установить в сети канал нужной скорости;
- низкий и постоянный уровень задержки передачи данных через сеть, что позволяет качественно передавать данные, чувствительные к задержкам – трафик реального времени (РВ) – голос, видео, различную технологическую информацию.

Недостатки сетей с коммутацией каналов:

- возможность отказа сети в обслуживании запроса на установление соединения. Такая ситуация может сложиться, если исчерпана «емкость» канала (число соединений абонентов). Отказ возможен и на конечном участке составного канала, если абонент занят сам (уже участвует в другом соединении);
- нерациональное использование пропускной способности физических каналов. После установления соединения часть пропускной способности отводится составному каналу на все время соединения. Но часто абонентам непрерывная пропускная способность не нужна (часто возникают паузы в разговоре или при взаимодействии компьютеров). Невозможность динамического перераспределения пропускной способности физического канала является принципиальным ограничением сети с коммутацией каналов;
- обязательная задержка перед передачей данных из-за фазы установления соединения.

Итак, техника коммутации каналов хорошо работает, когда нужно передавать только трафик телефонных разговоров, а с нерациональным использованием магистральных каналов между коммутаторами можно

мириться. Однако при передаче очень неравномерного компьютерного трафика такая нерациональность уже неприемлема. Сегодня методы коммутации каналов широко применяются для образования высокоскоростных постоянных соединений в так называемых первичных (опорных) сетях, которые активно используются для создания магистральных физических каналов между коммутаторами телефонных или компьютерных сетей.

### 1.3.2. Коммутация пакетов

Техника коммутации пакетов была специально разработана именно для эффективной передачи компьютерного трафика. Коммутация каналов не позволяет достичь высокой общей пропускной способности сети из-за пульсирующего трафика при работе приложений. Коэффициент пульсации трафика отдельного пользователя сети ( $\min/\max$ ) составляет  $1/(50\div 100)$ . Поэтому при коммутации каналов, большую часть времени они будут простаивать, а коммутационные возможности (установленные соединения пар абонентов) заняты и недоступны другим пользователям.

Далее рассмотрим подробнее различные порции данных, которые могут передаваться по сети. **Сообщением** принято считать логически завершенную порцию данных (запрос на передачу файла; ответ, содержащий файл). Сообщение может иметь произвольную длину в байтах или мегабайтах. При коммутации пакетов все передаваемые пользователем сети сообщения разбиваются в исходном узле на сравнительно небольшие части – **пакеты**. Пакет тоже может иметь произвольную длину, но в сравнительно узких пределах, например,  $46\div 1500$  байтов. Каждый пакет снабжается заголовком с адресной информацией для доставки и номером для сборки сообщения (рис.1.6) [1, 5].

Пакеты транспортируются в сети как независимые информационные блоки. Коммутаторы сети принимают пакеты от конечных узлов и на основании адресной информации передают их друг другу, а в итоге – узлу назначения.

Коммутаторы пакетной сети имеют буферную память для временного хранения пакетов на случай занятости выходного порта коммутатора. В этом случае пакет некоторое время находится в очереди

пакетов в буферной памяти выходного порта, а когда до него дойдет очередь, будет передан следующему коммутатору. Так сглаживаются пульсации трафика на магистральных линиях связи между коммутаторами, повышая пропускную способность сети в целом. Сеть с коммутацией пакетов замедляет процесс взаимодействия конкретной пары абонентов из-за ожиданий в коммутаторах. Тем не менее, доказано, что общий объем передаваемых сетью данных в единицу времени при коммутации пакетов будет выше, чем при коммутации каналов. Здесь уместна аналогия мультипрограммной и однопрограммной ОС, когда первая эффективнее второй.

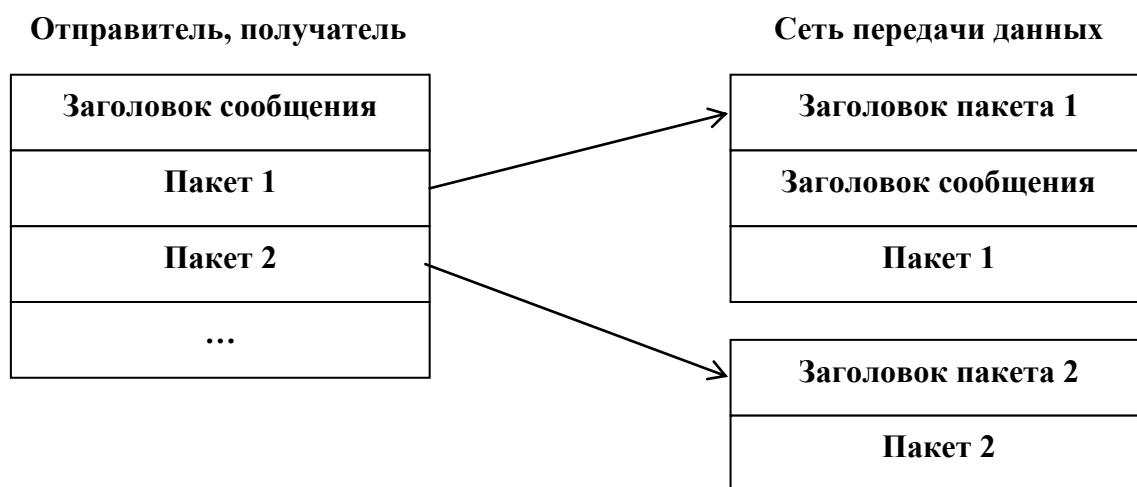


Рис.1.6. Разбиение сообщения на пакеты

Достоинства сетей с коммутацией пакетов:

- высокая общая пропускная способность сети при передаче пульсирующего трафика;
- возможность динамически перераспределять пропускную способность физических каналов связи между абонентами в соответствии с реальными потребностями их трафика.

Недостатки сетей с коммутацией пакетов:

- неопределенность скорости передачи данных между абонентами сети, что обусловлено зависимостью задержек в очередях буферов коммутаторов сети от общей загрузки сети;
- переменная величина задержки пакетов данных, которая может достигать значительной величины в моменты мгновенных перегрузок сети;

- возможность потери данных из-за переполнения буферов коммутаторов.

В настоящее время активно внедряются так называемые методы обеспечения качества обслуживания (Quality of Service, **QoS**), позволяющие преодолеть отмеченные недостатки, особенно остро проявляющиеся для чувствительного к задержкам трафика, требующего постоянной скорости передачи. А сети, использующие эти методы, позволяют передавать одновременно различные виды трафика. Поэтому методы коммутации пакетов сегодня считаются наиболее перспективными для построения сети, которая обеспечит комплексные качественные услуги для абонентов любого типа.

**Коммутация сообщений.** По своим принципам она близка к коммутации пакетов. Коммутация сообщений – это передача единого блока данных между транзитными компьютерами сети с временной буферизацией этого блока на жестком диске каждого компьютера (рис.1.7) [1, 5].

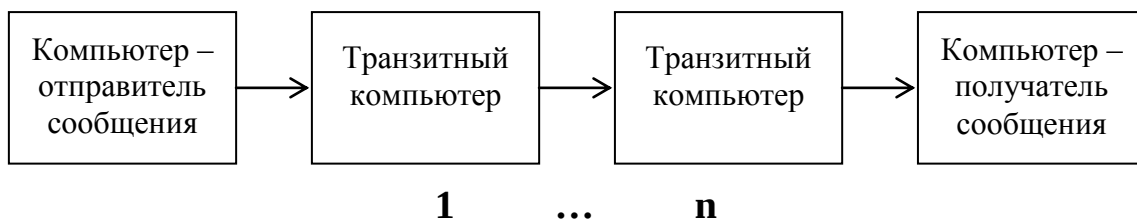


Рис.1.7. Коммутация сообщений

Длина сообщения определяется не технологическими соображениями, а только содержанием информации. Транзитные компьютеры могут соединяться сетью с коммутацией пакетов или сетью с коммутацией каналов. Время хранения сообщения в транзитном компьютере может быть достаточно большим, если временно компьютер загружен другими работами или сеть перегружена. Так передаются сообщения, не требующие мгновенного ответа, например, сообщения электронной почты. Режим передачи с промежуточным хранением на диске называется режимом «хранение и передача» (store and forward). Режим коммутации сообщений разгружает сеть для передачи трафика, требующего быстрого ответа, например, трафика службы «Всемирной паутины» (World-Wide Web, **WWW**) или файловой службы.

Число транзитных компьютеров стараются по возможности уменьшить. В сети с коммутацией пакетов их число обычно уменьшают до двух. Но если компьютеры связаны телефонной сетью, то часто специально используется несколько промежуточных серверов, поскольку прямой доступ к конечному серверу может быть невозможен в данный момент из-за перегрузки телефонной сети (абонент занят) или экономически невыгоден из-за высоких тарифов на дальнюю телефонную связь.

Техника коммутации сообщений появилась в компьютерных сетях раньше техники коммутации пакетов, но потом была вытеснена последней, как более эффективной по критерию пропускной способности сети. Запись сообщения на диск занимает достаточно много времени. Кроме того, наличие дисков требует использовать специализированные компьютеры в качестве коммутаторов, что удорожает сеть.

Сегодня коммутация сообщений работает только для некоторых не оперативных служб, причем чаще всего поверх сети с коммутацией пакетов, как служба прикладного уровня.

**Постоянная и динамическая коммутация.** Сети с коммутацией каналов и сети с коммутацией пакетов можно разделить на сети [1, 5]:

- с динамической коммутацией. Сеть разрешает устанавливать соединение по инициативе пользователя. Коммутация выполняется на время сеанса, затем по инициативе одного из взаимодействующих пользователей разрывается. Длительность такой коммутации – от нескольких секунд до нескольких часов. Примеры: телефонные сети, ЛС, сети протоколов TCP/IP;
- с постоянной коммутацией. Сеть разрешает паре пользователей заказать соединение на длительный период времени (несколько месяцев). Соединение устанавливается не пользователем, а персоналом, обслуживающим сеть. Режим постоянной коммутации в сетях с коммутацией каналов часто называется **сервисом выделенных (арендуемых) каналов**. Пример: сети технологии синхронной цифровой иерархии SDH, на основе которых строятся выделенные каналы связи с пропускной способностью несколько Гбит/с.

Некоторые сети поддерживают оба упомянутых режима работы. Примеры: глобальные сети X.25 и асинхронного режима передачи АТМ.

**Пропускная способность сетей с коммутацией пакетов.** К сожалению, коммутация пакетов в отличие от коммутации каналов дает неопределенность пропускной способности соединения между двумя абонентами. При передаче сообщения, разбитого на пакеты, возникают дополнительные временные задержки. Это задержки в источнике (формирование пакетов стеком протоколов, передача заголовков), в коммутаторе (буферизация пакетов, коммутация – ожидание пакетов в очереди, перемещение в выходной порт), а также в приемнике. Время ожидания каждого пакета в очереди колеблется в очень широких пределах и заранее неизвестно, так как зависит от текущей загрузки сети пакетами. Таким образом, неопределенная пропускная способность сети с коммутацией пакетов – это плата за ее общую эффективность при некотором ущемлении интересов отдельных абонентов. Аналогично, в мультипрограммной ОС время выполнения приложения предсказать заранее невозможно, так как оно зависит от числа других приложений, с которыми данное приложение разделяет процессор.

На эффективность работы сети существенно влияют и размеры пакетов. С увеличением размеров пакетов, их становится меньше, сеть становится ближе к сети с коммутацией каналов, эффективность ее падает. С уменьшением размеров пакетов их число увеличивается, растут задержки, передача замедляется. Существует некоторая золотая середина в определении размера пакетов, обеспечивающая максимальную эффективность, но ее трудно определить точно. Поэтому разработчики протоколов определили диапазон размера пакетов, точнее длины их поля данных от 0 до 4 Кбайт. Приложения при передаче стараются занять этот максимальный размер поля данных, чтобы быстрее передать сообщение. Небольшие пакеты используются как квитанции.

При выборе размера пакета необходимо учитывать и интенсивность битовых ошибок канала. На ненадежных каналах следует уменьшать размеры пакетов, так как это уменьшает объем повторно передаваемых данных при искажениях пакетов.

**Дейтаграммная передача и виртуальные каналы в сетях с коммутацией пакетов.** Описанный режим передачи пакетов предполагает независимую маршрутизацию каждого пакета и называется **дейтаграммным**. При его использовании коммутатор может изменить

маршрут отдельного пакета в зависимости от состояния сети – работоспособности каналов и коммутаторов, длины очередей пакетов в соседних коммутаторах.

Существует и другой режим работы сети – передача пакетов **по виртуальному каналу**. В этом случае перед тем, как начать передачу данных между двумя конечными узлами, между ними должен быть установлен виртуальный канал, представляющий единственный маршрут. Виртуальный канал может быть динамическим или постоянным. Динамический виртуальный канал устанавливается при передаче в сеть специального пакета – запроса на установление соединения. Этот пакет проходит через коммутаторы и «прокладывает» виртуальный канал. Это означает, что коммутаторы запоминают маршрут для данного соединения и при поступлении его следующих пакетов будут направлять их по данному проложенному маршруту. Постоянные виртуальные каналы создаются администраторами сети путем ручной настройки коммутаторов.

При отказе коммутатора или канала на пути виртуального канала соединение разрывается, и виртуальный канал нужно прокладывать заново. При этом он обойдет отказавшие участки.

Дейтаграммный режим не требует предварительного установления соединения и работает без задержки до передачи данных, что выгодно при передаче небольшого объема данных. Кроме того, он быстрее адаптируется к изменениям в сети.

При использовании метода виртуальных каналов время, затраченное на установление виртуального канала, компенсируется последующей быстрой передачей всего потока пакетов. Коммутаторы распознают принадлежность пакета к виртуальному каналу по специальной метке (номеру виртуального канала), без анализа конечных узлов, как в дейтаграммном методе.

#### **1.4. Структуризация как средство построения больших сетей**

Важнейшими элементами сетей являются секции и сегменты. **Секция** – два компьютера, соединенных кабелем или его частью, **сегмент** – несколько компьютеров, соединенных без необходимости использования дополнительной (согласующей и усилительной) аппаратуры.

В сетях с небольшим числом (10-30) компьютеров обычно используется одна из типовых топологий – общая шина, звезда, кольцо или полносвязная сеть. Все эти топологии являются однородными, так как все компьютеры в них имеют равные права доступа к сети. Такая однородность структуры упрощает процедуру наращивания числа компьютеров, облегчает обслуживание и эксплуатацию сети.

Но при построении больших сетей использование типовых структур порождает важнейшие ограничения на длину связи между узлами (длину секции, сегмента, сети), число узлов в сети, интенсивность трафика, порождаемого узлами сети. Например, технология Ethernet на тонком коаксиальном кабеле позволяет использовать секции или сегменты длиной до 185 метров и связывать так до 30 компьютеров.

Для снятия подобных ограничений используются специальные методы структуризации сети и специальное структурообразующее и коммуникационное оборудование (блоки взаимодействия) – повторители, концентраторы, мосты, коммутаторы, маршрутизаторы.

#### 1.4.1. Физическая структуризация сети

Простейшее коммуникационное устройство – **повторитель** (Repeater, R) – используется для физического соединения различных сегментов локальной сети с целью увеличения ее общей длины (рис.1.8) [1, 5]. Он передает сигналы из одного сегмента сети в другой и позволяет преодолеть ограничения на длину линий связи за счет улучшения качества передаваемого сигнала – восстановления его мощности и амплитуды, улучшения фронтов и т.п. На рис.1.8 буквой Т обозначен терминатор.

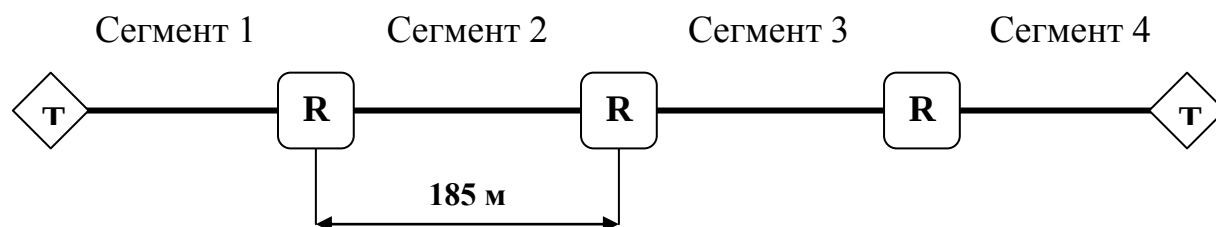


Рис.1.8. Сегменты, соединенные повторителями

Повторитель, имеющий несколько портов и соединяющий несколько физических сегментов или компьютеров, называется **концентратором** или **хабом** (hub – основа, центр деятельности). Концентраторы

применяются практически для всех базовых технологий ЛС – Ethernet, ArcNet, Token Ring, FDDI, Fast Ethernet, 100VG-AnyLAN, Gigabit Ethernet. В работе концентраторов разных технологий имеется много общего – они повторяют сигналы, пришедшие с одного из своих портов, на других своих портах, а на каких именно, зависит от особенностей конкретной базовой технологии. Так, концентратор Ethernet повторяет входные сигналы на всех своих выходных портах, кроме порта компьютера-отправителя (Рис.1.9, а) [1]. А концентратор Token Ring повторяет входные сигналы только на одном выходном порту, к которому подключен следующий в кольце компьютер (Рис.1.9, б) [1, 5]. Важно помнить то, что концентратор всегда изменяет физическую топологию сети, сохраняя ее логическую топологию.

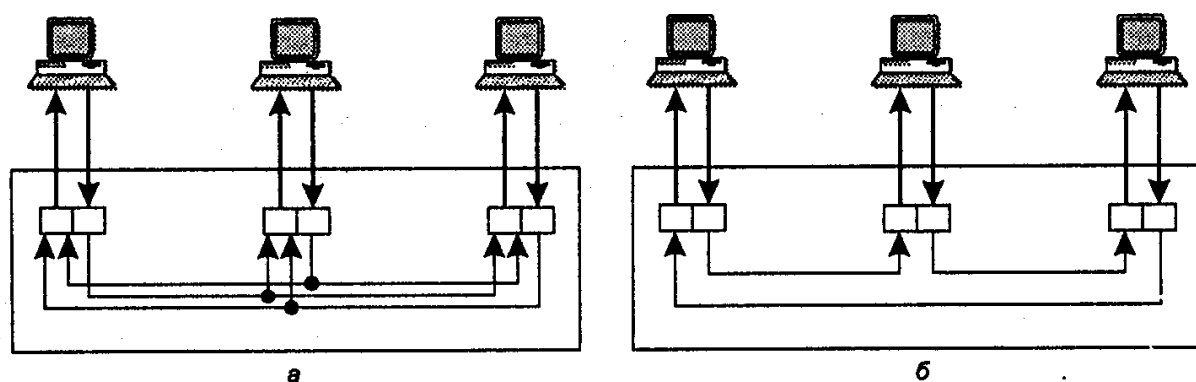


Рис.1.9. Концентраторы: а – Ethernet, б – Token Ring

Во многих случаях физическая и логическая топологии сети совпадают. Например, сеть (рис.1.10) имеет физическую и логическую топологии «кольцо», так как компьютеры физически связаны по кольцу  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow F \rightarrow E \rightarrow D \rightarrow A$  (сплошная линия) и в той же последовательности передают информацию (маркер и пакеты, штриховая линия) [1, 5].

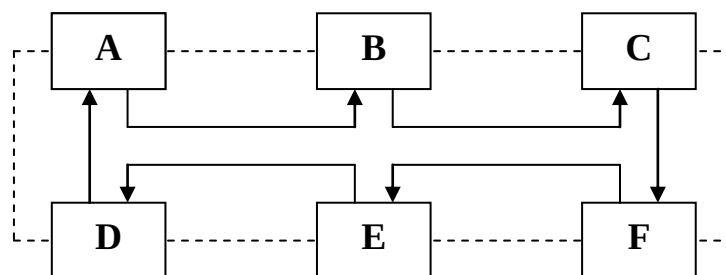


Рис.1.10. Совпадение физической и логической топологий

Но бывают и случаи, когда физическая и логическая топологии не

совпадают. Например, если физически компьютеры соединены по топологии «общая шина», то логическим конфигурированием драйверов сетевых адаптеров можно получить логическую топологию «кольцо» (рис.1.11) [1, 5]. Другим примером несовпадения топологий является уже рассмотренная сеть (рис.1.9, а). Здесь концентратор Ethernet поддерживает физическую топологию «звезда», но логическая топология сети Ethernet – «общая шина» (со своей логикой доступа, алгоритмами).

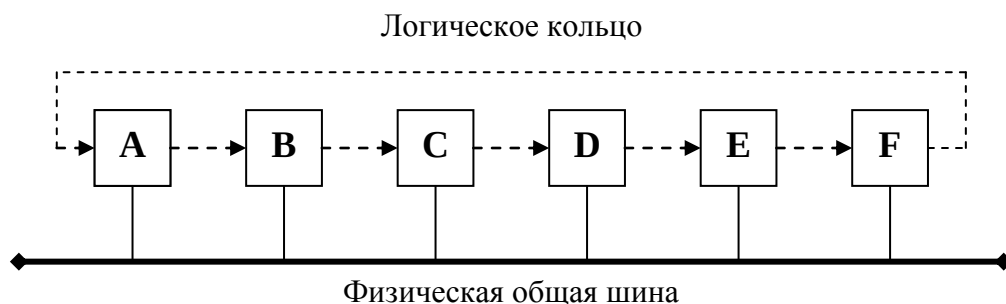


Рис.1.11. Физическая топология – общая шина, логическая – кольцо

Физическая структуризация сети с помощью концентраторов полезна не только для увеличения длины сети и расстояний между узлами, но и для повышения ее надежности.

Например, если какой-либо компьютер в сети Ethernet с физической топологией «общая шина» из-за сбоя начинает непрерывно передавать данные по общему кабелю, то вся сеть выходит из строя, и решить проблему удастся только отсоединением вручную сетевого адаптера этого компьютера от кабеля. А в сети Ethernet, построенной на основе концентратора, эта проблема может быть решена автоматически. Концентратор сам отключает свой порт, если обнаруживает, что присоединенный к нему узел слишком долго монопольно занимает сеть. Концентратор может блокировать некорректно работающий узел и в других случаях, играя роль некоторого управляющего узла.

#### 1.4.2. Логическая структуризация сети

Она необходима в ряде случаев, обычно относящихся к сетям большого и среднего размера. Наиболее важной проблемой, не решаемой путем физической структуризации, остается проблема перераспределения передаваемого трафика между различными физическими сегментами сети.

В большой сети естественным образом возникает неоднородность

информационных потоков: сеть состоит из множества подсетей рабочих групп, отделов, филиалов предприятия и других административных образований. Традиционно считается, что наиболее интенсивный обмен данными (~80% общего трафика) наблюдается между компьютерами, принадлежащими к одной подсети или входящими в локальные рабочие группы. Но в последние годы, в связи с широким внедрением intranet-технологий, появлением на многих предприятиях централизованных хранилищ корпоративных данных, активно используемых всеми сотрудниками, характер нагрузки подобных сетей во многом изменился. Изменилось и распределение информационных потоков, и теперь нередки ситуации, когда интенсивность внешних обращений становится выше интенсивности обмена между «соседними» компьютерами. Поэтому независимо от соотношения внешнего и внутреннего трафика, для повышения эффективности работы сети неоднородность информационных потоков необходимо учитывать [1].

Таким образом, сегодня ситуация такова, что сеть с типовой топологией и одной разделяемой средой для всех физических сегментов уже не соответствует структуре информационных потоков в большой сети. Например, в сети Ethernet с логической топологией «общая шина» взаимодействие любой пары компьютеров занимает ее на все время обмена, поэтому при увеличении числа компьютеров в сети шина становится узким местом. А компьютеры одного отдела вынуждены ждать, когда окончит обмен пара компьютеров другого отдела. И это при том, что необходимость связи компьютеров разных отделов возникает гораздо реже и требует совсем небольшой пропускной способности. Подобная ситуация может возникнуть в сети (рис.1.12), объединяющей 3 отдела предприятия и построенной на основе 5 концентраторов [1, 5].

Здесь даже во время передачи данных от компьютера А к компьютеру В все концентраторы 1-5 распространяют любой кадр от компьютера А по всем сегментам сети, и до ее окончания любой компьютер сети уже не сможет начать передачу. Такая ситуация возникает потому, что однородная логическая структура сети не учитывает локализацию трафика в подсетях. Решение проблемы состоит в отказе от идеи единой однородной разделяемой среды. В последнем примере требуется изолировать среды подсетей по входу-выходу так,

чтобы «свои» сообщения не выходили из подсети, а входили в нее только «нужные чужие» сообщения.

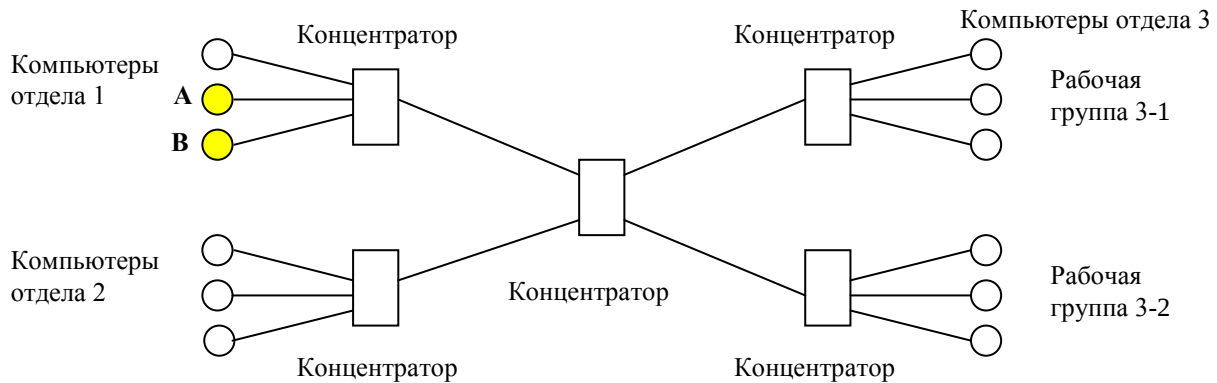


Рис.1.12. Сеть, построенная на основе 5 концентраторов

При этом в период передачи данных в одной подсети компьютеры других подсетей не будут простаивать, а общая производительность сети существенно повысится. Кроме того, если трафик между отделами значительно меньше внутреннего трафика отделов, то можно снизить требования к пропускной способности линий связи и коммуникационного оборудования для связи отделов.

Распространение трафика, предназначенного для компьютеров некоторого сегмента сети, только в пределах этого сегмента, называется локализацией трафика. Локализация трафика не только повышает пропускную способность сети, но и уменьшает возможность несанкционированного доступа к данным. Таким образом, логическая структуризация сети – это процесс разбиения сети на сегменты с локализованным трафиком. Для логической структуризации сети используются такие коммуникационные устройства, как мосты, коммутаторы, маршрутизаторы и шлюзы.

**Мост (bridge)** делит разделяемую среду передачи сети на части (логические сегменты) передавая информацию из одного сегмента в другой только в том случае, если такая передача необходима. На рис.1.13 показана сеть, полученная из сети (рис.1.12) путем замены центрального концентратора на мост [1, 5]. Мосты используют для локализации трафика аппаратные адреса компьютеров. Это затрудняет распознавание принадлежности того или иного компьютера к определенному логическому сегменту, поскольку сам адрес ее не содержит. Поэтому мост

достаточно упрощенно представляет деление сети на сегменты. Он только запоминает, через какой порт на него поступил кадр данных от каждого компьютера сети, и в дальнейшем передает кадры, предназначенные этому компьютеру, на этот порт. Точной топологии связей между логическими сегментами мост не знает. Из-за этого применение мостов приводит к значительным ограничениям на конфигурацию связей сети – сегменты должны быть соединены так, чтобы в сети не образовывались замкнутые контуры.

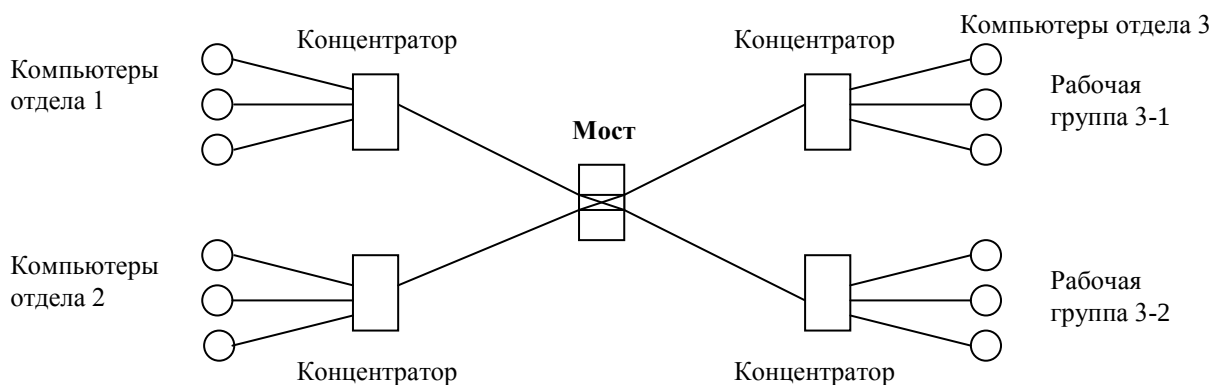


Рис.1.13. Сеть с мостом вместо центрального концентратора

**Коммутатор** (switch, switching hub) по принципу обработки кадров похож на мост. Но в отличие от моста он является своего рода коммуникационным мультипроцессором. Каждый его порт оснащен специализированным процессором, который обрабатывает кадры по алгоритму моста независимо от процессоров других портов. За счет этого общая производительность коммутатора намного превышает производительность моста (с одним процессорным блоком). Коммутаторы – это мосты нового поколения, обрабатывающие кадры параллельно.

Ограничения на замкнутые контуры, связанные с применением мостов и коммутаторов по топологии связей и другие привели к появлению маршрутизаторов. **Маршрутизатор** (Router) более надежно и эффективно, чем мост, изолирует трафик отдельных частей сети друг от друга. Маршрутизатор образует логические сегменты сети посредством явной адресации, используя не плоские аппаратные, а составные числовые адреса компьютеров. Такой адрес содержит и поле номера сети, так что все компьютеры с одинаковым значением поля номера сети (в адресе) принадлежат к одному сегменту, называемому в этом случае **подсетью**.

(subnet).

Кроме локализации трафика маршрутизаторы выполняют еще много других полезных функций. Они могут работать в сети с замкнутыми контурами и при этом осуществляют выбор наиболее рационального маршрута передачи данных из нескольких возможных. Сеть, представленная на рис.1.14 [1, 5], получена из сети (рис.1.12) путем замены концентраторов отделов 1 и 2 и центрального концентратора на маршрутизаторы, а также добавлением связи между подсетями отделов 1 и 2 для повышения производительности сети и ее надежности.

Другой очень важной функцией маршрутизаторов является их способность связывать в единую сеть подсети, построенные с использованием разных сетевых технологий, например, технологии ЛС – Ethernet и ГС – X.25.

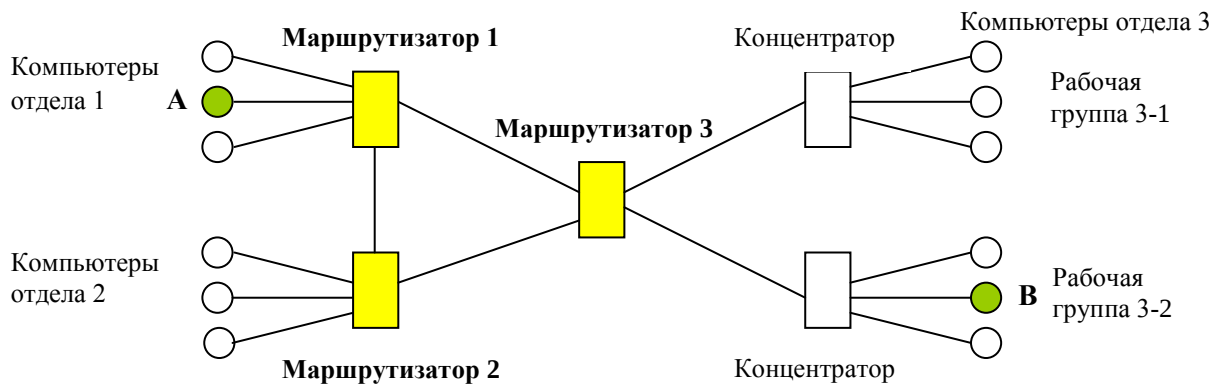


Рис.1.14. Сеть с тремя маршрутизаторами вместо концентраторов

Кроме перечисленных устройств отдельные части сети может соединять **шлюз** (gateway). Шлюз соединяет сети с разными типами системного и прикладного ПО, а также обеспечивает локализацию трафика (в качестве некоторого побочного эффекта).

Крупные сети практически никогда не строятся без логической структуризации. Для отдельных сегментов и подсетей характерны типовые однородные топологии базовых технологий, а для их объединения всегда используется оборудование, локализующее трафик – мосты, коммутаторы, маршрутизаторы.

## 1.5. Сетевые службы

Для конечного пользователя сеть – это не компьютеры, кабели и сетевое оборудование, и даже не информационные потоки. Это, прежде

всего, тот набор сетевых служб, с помощью которых он получает возможность выполнить всю свою работу в сети. Поэтому именно широта выбора предоставляемых сетевыми службами возможностей, их удобство, надежность, безопасность и определяют для пользователя облик конкретной сети. Далее рассмотрим 10 примеров сетевых служб.

Реализация сетевых служб обычно осуществляется различными программными средствами. Основные службы – файловая служба (1) и служба печати (2) – обычно представляются сетевой ОС, а вспомогательные – служба баз данных (3), факса (4) или передачи голоса (5) – системными сетевыми приложениями или утилитами, работающими в среде сетевой ОС. Более того, распределение служб между ОС и утилитами достаточно условно и меняется в конкретных реализациях ОС.

Кроме обеспечения обмена данными сетевые службы должны решать и другие, более специфичные задачи, например, задачи, порождаемые распределенной обработкой данных. Это, в частности, обеспечение непротиворечивости нескольких копий данных, хранимых на разных компьютерах, чем занимается служба репликации (6) (от слова replica – копия), организация выполнения одной задачи параллельно на нескольких компьютерах сети (служба вызова удаленных процедур (7) (Remote Procedure Call, **RPC**)). Среди сетевых служб можно выделить еще и административные, которые ориентированы не на конечного пользователя, а на администратора и служат для организации правильной работы сети в целом. Примеры административных служб: служба администрирования учетных записей о пользователях (8), которая позволяет администратору вести общую БД о пользователях сети, служба (система) мониторинга сети (9), позволяющая захватывать и анализировать сетевой трафик, служба безопасности (10), в функции которой может входить среди прочего выполнение процедуры логического входа с последующей проверкой пароля.

При разработке сетевых служб приходится решать общие проблемы распределенных приложений (определение протокола взаимодействия между клиентской и серверной частями, распределение функций между ними, выбор схемы адресации приложений и другие).

Одним из главных показателей качества сетевой службы является ее удобство. Поэтому для одного ресурса может быть разработано несколько

служб, решающих похожие задачи по-разному, с разной эффективностью и удобством. Удобство определяется и качеством графического интерфейса пользователя. Прозрачный доступ – это такой доступ, при котором пользователь не замечает, где в сети расположен нужный ему ресурс – на его локальном или на удаленном компьютере. После того, как пользователь смонтировал удаленную файловую систему в свое дерево каталогов, доступ к удаленным файлам становится для него прозрачным. Но сама операция монтирования может иметь различную степень прозрачности. В сетях с меньшей степенью прозрачности (например, под управлением ОС UNIX) пользователь должен знать и задавать в команде имя компьютера, где хранится удаленная файловая система, в сетях с большей степенью прозрачности соответствующий программный компонент автоматически производит поиск разделяемых ресурсов без указания мест их хранения и предоставляет пользователю в удобной форме (в виде набора пиктограмм).

Для обеспечения прозрачности важен и способ адресации (именования) разделяемых сетевых ресурсов. Их имена не должны зависеть от их физического расположения на том или ином компьютере. В идеале пользователь вообще ничего не должен менять в своей работе, если администратор изменил положение ресурса в сети (переместил каталог на другой компьютер).

## **1.6. Архитектура и стандартизация сетей**

В компьютерных сетях универсальный тезис о пользе стандартизации приобретает особое значение. Суть сети – это соединение разного оборудования, следовательно, проблема совместимости является одной из наиболее острых проблем. Без принятия всеми производителями общепринятых правил построения оборудования прогресс в деле «строительства» сетей был бы невозможен. Поэтому развитие компьютерной и сетевой отраслей, в конечном счете, отражено в стандартах, и любая новая технология только тогда приобретает «законный» статус, когда ее содержание закрепляется в соответствующем стандарте.

В компьютерных сетях основой стандартизации является многоуровневый подход к разработке средств сетевого взаимодействия.

Именно на основе этого подхода была разработана стандартная семиуровневая модель взаимодействия открытых систем, ставшая основой общения сетевых специалистов [1, 5].

### **1.6.1. Многоуровневый подход к разработке средств сетевого взаимодействия**

Описание подхода включает следующие 9 ключевых идей.

1. **Декомпозиция.** Взаимодействие устройств в сети организовать достаточно сложно. А для решения сложных задач часто используется универсальный прием: **декомпозиция** – разбиение задачи на несколько более простых подзадач-модулей с четким определением функций каждого модуля и интерфейсов между ними. В результате достигается логическое упрощение задачи и появляется возможность модификации отдельных модулей без изменения остальной части системы (задачи).

2. **Функциональные уровни.** При декомпозиции часто используется многоуровневый подход, когда все множество модулей разбивается на иерархические уровни. Множество модулей, составляющих каждый уровень, формируется так, что для решения своих подзадач они обращаются с запросами только к модулям нижележащего уровня, а результаты своей работы передают только на вышележащий уровень. Такая иерархическая декомпозиция предполагает четкое определение функции каждого уровня и интерфейсов между уровнями. Интерфейс определяет набор функций, которые нижележащий уровень предоставляет вышележащему. В результате иерархической декомпозиции достигается относительная независимость уровней и возможность их легкой замены. Проверенный пример: многослойная структура ОС.

Средства сетевого взаимодействия тоже могут быть представлены в виде иерархически организованного множества модулей. Но такое представление имеет свою специфику, когда в процессе обмена сообщениями участвуют два компьютера, и необходимо организовать согласованную работу уже двух «иерархий».

3. **Соглашения.** Усложняет ситуацию и то, что при передаче сообщений оба участника сетевого обмена должны принять множество соглашений: согласовать уровни и форму электрических сигналов, способ определения длины сообщений, методы контроля достоверности и т.д.

Подобные соглашения должны быть приняты для всех уровней, начиная с самого нижнего (передачи битов) до самого высшего (сервиса для пользователей сети).

4. **Протоколы.** Упрощенная четырехуровневая модель взаимодействия двух узлов сети представлена на рис.1.15 [1, 5]. Процедура взаимодействия этих двух узлов может быть описана в виде правил взаимодействия каждой пары соответствующих уровней обеих участвующих сторон. Формализованные правила, определяющие последовательность и формат сообщений, которыми обмениваются сетевые компоненты одного уровня разных узлов, называются **протоколом**.

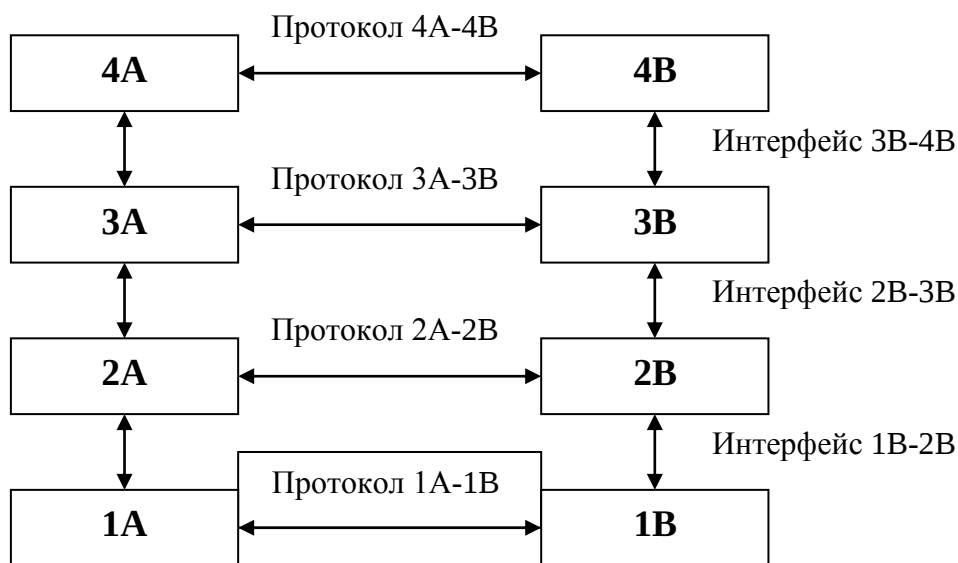


Рис.1.15. Упрощенная четырехуровневая модель взаимодействия двух узлов сети

5. **Интерфейсы.** Модули, реализующие протоколы соседних уровней одного узла, также взаимодействуют друг с другом в соответствии с четко определенными правилами и с помощью стандартизованных форматов сообщений. Эти правила принято называть **интерфейсом**. Интерфейс определяет набор сервисов, предоставляемый данным уровнем соседнему уровню. По сути, протокол и интерфейс выражают одно и то же понятие, но традиционно за ними закрепили разные области действия: протоколы определяют правила взаимодействия модулей одного уровня в разных узлах ( $\leftrightarrow$ ), а интерфейсы – модулей соседних уровней в одном узле ( $\updownarrow$ ).

Средства каждого уровня должны отрабатывать свой собственный протокол и интерфейсы с соседними уровнями.

**6. Стек коммуникационных протоколов.** Иерархически организованный набор протоколов, достаточный для организации взаимодействия узлов в сети, называется **стеком коммуникационных протоколов**.

**7. Способы и устройства для реализации протоколов.** Коммуникационные протоколы могут быть реализованы как программно, так и аппаратно. Обычно протоколы нижних уровней реализуются комбинацией программных и аппаратных средств, верхних – только программными средствами. Программный модуль, реализующий некоторый протокол, часто для краткости также называют протоколом. Формально определенная процедура протокола реализует некоторый алгоритм решения подзадачи взаимодействия узлов. Но один и тот же алгоритм может быть запрограммирован с разной степенью эффективности. Поэтому протокол может иметь несколько программных реализаций, и при сравнении протоколов следует учитывать не только логику их работы, но и качество программных решений. Более того, эффективность взаимодействия узлов в сети определяется качеством всей совокупности протоколов, составляющих стек, в частности, тем, насколько рационально распределены функции между протоколами разных уровней и насколько хорошо определены интерфейсы между ними.

Протоколы реализуются не только компьютерами, но и другими сетевыми устройствами – концентраторами, мостами, коммутаторами, маршрутизаторами и т.д., поскольку в общем случае связь компьютеров в сети осуществляется не напрямую, а через различные коммуникационные устройства. В зависимости от типа устройства в нем должны быть встроенные средства, реализующие тот или иной набор протоколов.

**8. Отправка, разбиение на пакеты и прием сообщений.** Необходимо учитывать и то, что файл сообщения при отправлении обычно разбивается на части (блоки или пакеты), которые должны быть определенным образом сгруппированы. Следовательно, компьютер, принимающий файл, должен получить еще и дополнительную информацию о том, как связаны между собой образованные группы данных, о способе синхронизации, а также информацию, позволяющую корректировать ошибки передачи данных и т.д. Значит, передающая

сторона должна включить в передаваемую информацию еще и дополнительную – управляющую информацию. Тогда принимающая сторона, считывая данные из сети по кабелю (прием) сможет преобразовать их в первоначальный вид на основе той управляющей информации, которая была добавлена к исходным данным передающей стороной (разборка пакетов). Отсюда протокол представляет собой набор правил, регламентирующих порядок:

- отправления – разбиения сообщения на части и формирования (сборки) для них пакетов из данных и управляющей информации на станции отправителя для передачи пакетов по сети;
- приема – разборки пакетов и объединения частей в цельное сообщение на рабочей станции получателя.

**9. Шаги по уровням иерархии.** Процесс передачи данных разбивается на шаги по уровням. Каждый такой шаг выполняется в соответствии со своим протоколом. Все эти шаги (протоколы) должны выполняться в определенной последовательности: от верхнего уровня до нижнего при передаче и от нижнего уровня до верхнего при приеме. Это движение напоминает написание буквы **U**. Каждый последующий уровень взаимодействует с предыдущим, поскольку протокольный стек – иерархическая структура.

### **1.6.2. Модель OSI**

Существенной проблемой является наличие большого числа протоколов, поддерживаемых различными компаниями. Пусть компания Novell осуществляет передачу данных одним способом, компания 3Com – другим способом, корпорация IBM – третьим. А так как передающая и принимающая стороны должны «говорить» на одном протокольном «языке», то при наличии в сети «разноязычных» устройств этих трех компаний они не смогут непосредственно обмениваться между собой данными. Именно по этой причине были разработаны и широко используются стандартные протоколы и модель взаимодействия открытых систем (Open Systems Interconnection Reference Model, **OSI**).

**Стандартный протокол** представляет собой набор правил, которые используются для осуществления связи между сетевыми устройствами большинства компаний-производителей и большим числом

пользователей. Стандарты бывают фирменные, национальные и международные.

**Модель OSI** – это концепция и набор протоколов для определения и стандартизации всего процесса передачи данных, разработанные в начале 80-х годов Международной организацией по стандартизации (International Organization for Standardization, **ISO**) и другими заинтересованными организациями. Модель OSI определяет различные уровни взаимодействия систем, дает им стандартные имена и указывает, какие функции должен выполнять каждый уровень. Полное описание модели занимает более 1000 страниц. Согласно этой концепции средства взаимодействия (процесс передачи данных) делятся на 7 уровней (рис.1.16) [1, 5].

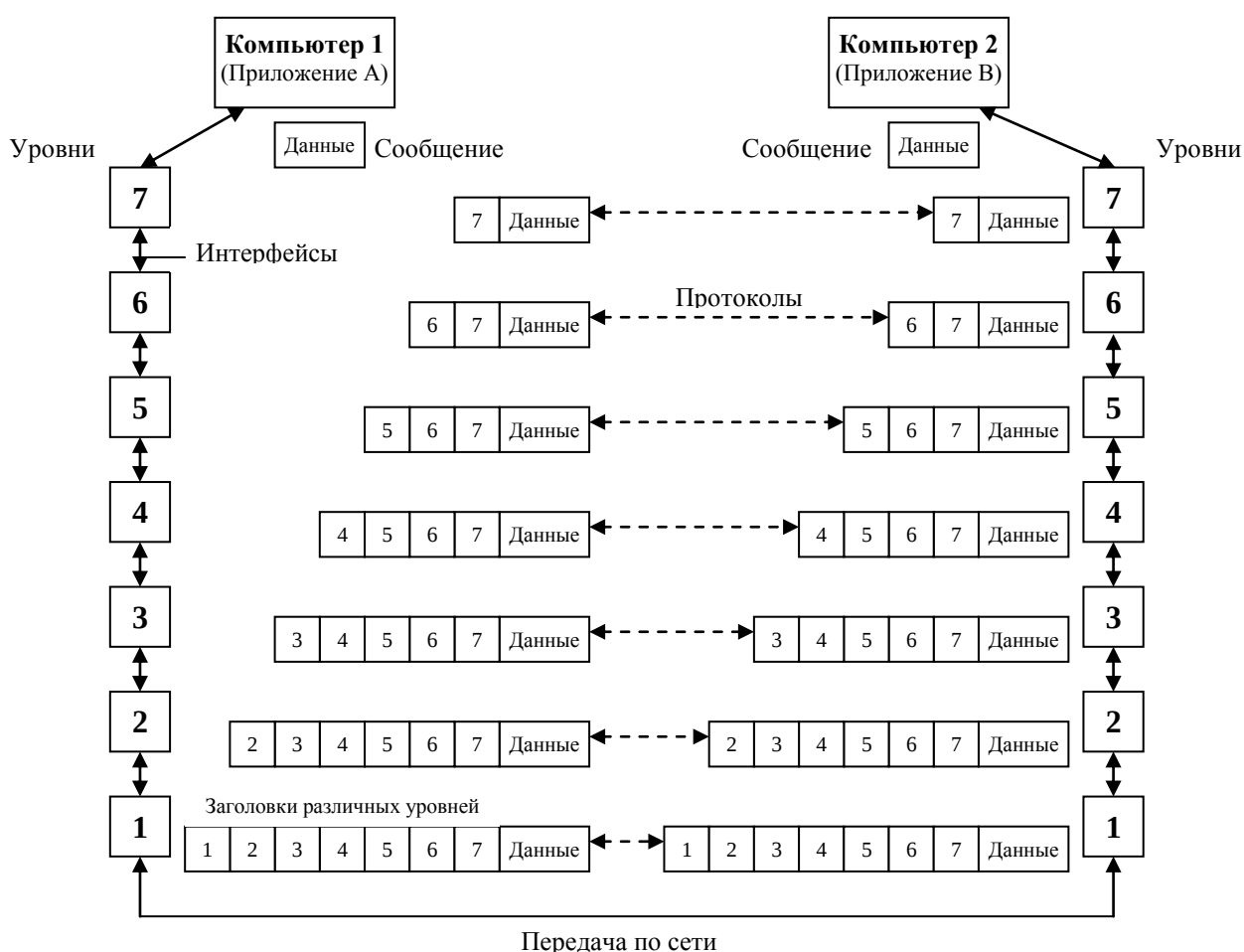


Рис.1.16. Модель взаимодействия открытых систем

В пределах этих уровней устанавливаются стандартные протоколы, причем число таких стандартных протоколов достаточно велико, является избыточным, а в условиях развития сетевых технологий неизбежно

появление более эффективных и новых технологий, например, беспроводных сетей. Таким образом, модель OSI не является единственным описанием процесса передачи данных, а только как бы говорит о том, что существует некоторый способ разбиения процесса передачи данных на уровни, и существуют определенные протоколы, которые можно применять на каждом из уровней. Это является гарантией того, что сеть, использующая один из стандартных протоколов для каждого из уровней модели, будет работать совместно с другими сетями данного стандарта.

По сути, модель OSI описывает только системные средства взаимодействия, реализуемые ОС, утилитами и аппаратными средствами, и не включает собственные средства взаимодействия, которые могут иметь приложения (это был бы ее уровень 8). Следует учитывать также и то, что иногда приложение может взять на себя функции верхних уровней 5-7 или наоборот, обойдя их, обращаться напрямую к системным средствам, ответственным за транспортировку сообщений по сети (уровни 1-4).

Рассмотрим рис.1.16 подробнее. Пусть Приложение А обращается с запросом к уровню 7, например, к файловой службе. При этом ПО уровня 7 формирует сообщение стандартного формата (заголовок 7, поле данных 7). Заголовок 7 содержит служебную информацию для уровня 7 адресата о том, какую работу ему надо выполнить (например, место нахождения файла, тип операции над ним). Поле данных может быть пустым или содержать данные для записи в удаленный файл. Сформированное сообщение направляется вниз уровню 6.

Протокол уровня 6 на основании информации из заголовка 7 выполняет требуемые действия и добавляет к сообщению свой заголовок 6 с указаниями действий для уровня 6 адресата. Сформированное сообщение направляется вниз уровню 5 и так далее.

Отметим, что некоторые реализации протоколов добавляют к сообщению не только заголовок, но и «концевик». Таким образом, достигая уровня 1, сообщение обрастает заголовками и концевиками всех уровней (рис.1.17) [1, 5]. Наконец, сформированное сообщение уровня 1 передается по линиям связи сети на компьютер-адресат, уровень 1, где протокол читает заголовок, выполняет указанные функции, удаляет

заголовок (и концевик), передает сообщение вверх уровню 2 и так далее вверх до конца.

Терминология модели OSI имеет свои особенности. Массивы информации, передаваемые между смежными уровнями, называются **протокольными блоками данных**. Для обозначения блоков данных определенных уровней модели OSI обычно используются специальные названия: **кадр** (frame) – уровень 2, **пакет** (packet) – уровень 3, **дейтаграмма** (datagram) и **сегмент** (segment) – уровень 4.



Рис.1.17. Сообщение с заголовками и концевиками уровней 1-3

В модели OSI используются протоколы двух основных типов:

- с установлением соединения. Перед обменом данными отправитель и получатель должны сначала установить соединение, выбрать параметры протокола для обмена данными, а после завершения диалога – разорвать это соединение. Пример аналогии: телефон;
- без предварительного установления соединения (дейтаграммные). Отправитель просто передает сообщение, когда оно готово. Пример аналогии: опускание письма в почтовый ящик.

### 1.6.3. Уровни модели OSI

Основные элементы модели OSI представлены в табл.2, где процессы охватывают верхние 3 уровня, нижние 4 уровня определяют транспортную сеть, обеспечивающую передачу информации между процессами (их портами), все уровни сведены в 3 группы. Рассмотрим уровни снизу вверх.

1. Физический уровень имеет дело с передачей битов по физическим каналам связи (коаксиальный кабель, витая пара, оптоволоконный кабель или цифровой территориальный канал). На этом уровне определяются характеристики физических сред (полоса пропускания, помехозащищенность, волновое сопротивление и другие), а также электрических сигналов, передающих дискретную информацию. Здесь стандартизируются типы разъемов и назначение каждого контакта.

Эти функции реализуются во всех устройствах, подключенных к сети (со стороны компьютера это сетевой адаптер, последовательный порт). Например: спецификация **10Base-T** технологии Ethernet определяет в качестве используемого кабеля неэкранированную витую пару UTP категории 3 с волновым сопротивлением 100 Ом, разъем **8P8C** (8 Position 8 Contact, часто неверно называемый RJ-45), максимальную длину сегмента 100 м и т.п.

Таблица 2

| УРОВНИ                      | ГРУППЫ                                   | ФУНКЦИИ                                                                                                                                                                                           |
|-----------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 7. Прикладной               | Обслуживание прикладных процессов        | Управление прикладными процессами. Есть команды и информация, их требуется передавать по сети (определяются и оформляются в блоки данные для передачи по сети)                                    |
| 6. Представительный         |                                          | Подготовка и преобразование информации, как этого требуют прикладные процессы                                                                                                                     |
| 5. Сеансовый                |                                          | Организация и управление сеансами взаимодействия прикладных процессов (организация и синхронизация диалога, начало, конец, обмен)                                                                 |
| (порты)                     |                                          |                                                                                                                                                                                                   |
| 4. Транспортный             | Передача информации по транспортной сети | Связь между оконечными пунктами, управление сквозными каналами (управление потоком данных из одного приложения в другое, включая переупаковку сообщений и коррекцию ошибок). Подтверждение приема |
| 3. Сетевой                  |                                          | Маршрутизация: прокладка пути через коммуникационную сеть (формируются пакеты, маршруты, образуются логические каналы, виртуальные соединения). Контроль нагрузки на сеть, исключение перегрузок  |
| 2. Канальный (звена данных) | Передача информации по каналу            | Проверка доступности среды передачи. Управление передачей кадров данных по каналу (с одного компьютера на другой); обнаружение и исправление ошибок уровня 1                                      |
| 1. Физический               |                                          | Сопряжение с каналом (передача битов данных между сетевыми устройствами)                                                                                                                          |

2. Канальный уровень (уровень звена данных). Его задачи:

1) проверка доступности среды передачи; 2) обеспечение доставки сообщений между любыми двумя узлами, например, ЛС с определенной типовой топологией; 3) реализация механизмов обнаружения и коррекции ошибок. Для этого на канальном уровне биты группируются в кадры. Он обеспечивает корректность передачи каждого кадра, помещая специальную последовательность битов в начало и конец каждого кадра для его выделения, а также вычисляет контрольную сумму, обрабатывая все байты кадра определенным способом, и добавляет ее к кадру. Получатель снова вычисляет контрольную сумму и сравнивает ее с присланной. При их совпадении кадр принимается, иначе фиксируется ошибка, исправляемая повторной передачей. Но функция исправления ошибок не является обязательной (ее нет в Ethernet и frame relay).

3. Сетевой уровень служит для образования единой транспортной системы, объединяющей несколько сетей, являющихся подсетями общей сети. Эти сети могут использовать совершенно различные принципы передачи сообщений между конечными узлами и обладать произвольной структурой связей. Он занимается доставкой данных между сетями и поддерживает возможность правильного выбора маршрута передачи сообщения даже в том случае, когда структура связей между сетями отличается от принятой в протоколах канального уровня. Сети соединяются между собой маршрутизаторами – устройствами, собирающими информацию о топологии межсетевых соединений и на ее основании пересылающими пакеты сетевого уровня в сеть назначения. При этом часто нужно выполнить несколько транзитных передач между сетями, каждый раз выбирая подходящий маршрут. Таким образом, маршрут – это последовательность маршрутизаторов, через которые проходит пакет. Решение проблемы выбора наилучшего пути (**маршрутизация**) – одна из главных задач сетевого уровня. Критерии выбора маршрута: длина; время передачи, зависящее от пропускной способности каналов и (переменной) интенсивности трафика; надежность передачи. Сетевой уровень решает также задачи согласования разных технологий, упрощения адресации в крупных сетях и создания надежных и гибких барьеров на пути нежелательного трафика между подсетями.

На сетевом уровне передаются **пакеты**. При организации доставки пакетов используется понятие «номер сети». Тогда адрес получателя имеет вид: (номер сети, номер узла). Тогда сеть – это совокупность узлов,

сетевой адрес которых содержит одинаковый номер сети. На сетевом уровне определяются два вида протоколов [1, 5]:

- сетевые протоколы – реализуют продвижение пакетов через сеть;
- протоколы маршрутизации – вспомогательные, с их помощью маршрутизаторы собирают информацию о топологии межсетевых соединений.

На сетевом уровне работают протоколы еще одного типа – разрешения адресов, отвечающие за отображение адреса узла, используемого на сетевом уровне (номер сети, номер узла) в локальный адрес сети. Иногда их относят к канальному уровню.

Второй важной функцией сетевого уровня после маршрутизации является контроль нагрузки на сеть с целью предотвращения перегрузок, отрицательно влияющих на работу сети.

4. Транспортный уровень обеспечивает приложениям или верхним уровням передачу данных с той степенью надежности, которая им требуется. Модель OSI определяет 5 классов сервиса, различающихся качеством услуг: 1) срочность, 2) возможность восстановления прерванной связи, 3) наличие средств мультиплексирования нескольких соединений различными прикладными протоколами через общий транспортный протокол, 4) способность к обнаружению и исправлению ошибок передачи (искажения, потеря и дублирование пакетов), 5) способность к исправлению ошибок передачи.

Выбор класса сервиса транспортного уровня зависит от качества решения задачи обеспечения надежности самими приложениями и протоколами более высоких уровней, а также от надежности системы транспортировки данных в сети средствами более низких уровней. При низкой надежности последних следует выбирать наиболее развитый сервис транспортного уровня с максимумом средств обнаружения и устранения ошибок (предварительное установление логического соединения, контроль доставки сообщений по контрольным суммам и циклической нумерации пакетов).

Как правило, все протоколы, начиная с транспортного уровня и выше, реализуются компонентами сетевых ОС узлов.

5. Сеансовый уровень. Обеспечивает управление диалогом: фиксирует, какая из сторон является активной в настоящий момент,

предоставляет средства синхронизации. Он позволяет вставлять контрольные точки в длинные передачи, чтобы в случае отказа можно было вернуться назад к последней контрольной точке, а не начинать все с начала. На практике немногие приложения используют сеансовый уровень, и он редко реализуется в виде отдельных протоколов, хотя функции этого уровня часто объединяют с функциями прикладного уровня и реализуют в одном протоколе.

6. Представительный уровень. Имеет дело с формой представления передаваемой по сети информации, не меняя ее содержания. За счет этого уровня информация, передаваемая из одной системы, всегда понятна прикладному уровню другой системы. Он переводит данные из формата, в котором их используют приложения, в промежуточный формат. Реализует функции представления данных (кодирование, форматирование, структурирование, сжатие, шифрование). Например, на этом уровне выделенные для передачи данные преобразуются из кода EBCDIC в ASCII и т.п. Благодаря шифрованию секретность обмена данными обеспечивается сразу для всех прикладных служб.

7. Прикладной уровень. В действительности это просто набор разнообразных протоколов, с помощью которых пользователи сети получают доступ к разделяемым ресурсам (файлам, принтерам, гипертекстовым Web-страницам), а также организуют свою совместную работу, например, с помощью протокола электронной почты. Поддерживает приложения, обеспечивая их доступ к сетевым услугам. Включает, например, такие средства для взаимодействия приложений, как прием и хранение пакетов в «почтовых ящиках» (mail-box). Оперирует сообщениями.

В конкретных случаях может возникать потребность в реализации лишь части названных функций, тогда соответственно в сети имеется лишь часть уровней. Так, в простых (неразветвленных) ЛС отпадает необходимость в средствах сетевого и транспортного уровней. С другой стороны, сложность функций канального уровня делает целесообразным его разделение в ЛС на два подуровня (сверху вниз):

- LLC (Logical Link Control) – управление логическим каналом. Описывает способ установления и завершения соединения и передачи данных. Данная часть функций канального уровня не связана с

особенностями передающей среды;

- **MAC (Medium Access Control)** – управление доступом к среде передачи. Описывает способ доступа сетевого устройства к среде передачи данных. Здесь работает драйвер платы сетевого адаптера.

Функции подуровня LLC обычно реализуются программно соответствующим модулем ОС, а функции подуровня MAC реализуются программно-аппаратно: сетевым адаптером и его драйвером.

**Взаимосвязь уровней и сетевого оборудования.** Среди функций всех уровней модели OSI выделяют функции, зависящие от конкретной технической реализации сети, и функции, ориентированные на работу с приложениями.

Три нижних уровня являются сетезависимыми. Их протоколы тесно связаны с технической реализацией сети и используемым коммуникационным оборудованием. Например, переход на оборудование FDDI означает полную смену протоколов физического и канального уровней во всех узлах сети.

Три верхних уровня ориентированы на приложения и мало зависят от технических особенностей построения сети. На их протоколы не влияют изменения в топологии сети, замена оборудования или переход на другую сетевую технологию (например, от Ethernet на высокоскоростную 100VG-AnyLAN).

Транспортный уровень является промежуточным, он скрывает все детали функционирования нижних уровней от верхних. Это позволяет разрабатывать приложения, не зависящие от технических средств непосредственной транспортировки сообщений.

Различные коммуникационные устройства работают на разных уровнях модели OSI: повторитель – только на физическом; сетевой адаптер, мост, коммутатор – на физическом и канальном; маршрутизатор – на физическом, канальном и сетевом, иногда захватывая и транспортный; шлюз – на всех [1, 5].

#### **1.6.4. Открытые системы**

В широком смысле **открытая система** – это любая система (компьютер, компьютерная сеть, ОС, ПС, другой аппаратный и

программный продукт), которая построена в соответствии с открытыми спецификациями. Спецификация – это формализованное описание аппаратных или программных компонентов, способов их функционирования, взаимодействия с другими компонентами, условий эксплуатации, ограничений и особых характеристик. Открытые спецификации – это опубликованные, общедоступные спецификации, соответствующие стандартам и принятые в результате всестороннего обсуждения и достижения согласия.

Использование при разработке систем открытых спецификаций позволяет третьим сторонам разрабатывать для этих систем различные аппаратные или программные средства расширения и модификации, а также создавать программно-аппаратные комплексы из продуктов разных производителей.

Для реальных систем полная открытость является недостижимым идеалом. Как правило, даже в системах, называемых открытыми, этому определению соответствуют лишь некоторые части, поддерживающие внешние интерфейсы. Например, в достаточно закрытой сетевой ОС Novell NetWare разработан открытый интерфейс Open Driver Interface для включения в систему драйверов сетевых адаптеров независимых производителей. Чем больше открытых спецификаций использовано при разработке системы, тем более открытой она является.

В открытой системе можно выделить интерфейсную часть (входы и выходы), обеспечивающую сопряжение с другими системами или подсистемами. Для комплексирования достаточно располагать сведениями только об интерфейсных частях сопрягаемых объектов. Если же интерфейсные части выполнены в соответствии с заранее оговоренными правилами и соглашениями, которых должны придерживаться все разработчики, то проблема создания новых сложных систем существенно упрощается. Из этого следует, что основой создания открытых систем является стандартизация и унификация в области информационных технологий.

Модель OSI касается только одного аспекта открытости, а именно открытости средств взаимодействия устройств, связанных в компьютерную сеть. Здесь под открытой системой понимается сетевое устройство, готовое взаимодействовать с другими сетевыми устройствами

с использованием стандартных правил, определяющих формат, содержание и значение принимаемых и отправляемых сообщений.

Если две сети построены с соблюдением принципов открытости, то это дает следующие преимущества:

- возможность построения сети из аппаратных и программных средств различных производителей, придерживающихся одного и того же стандарта;
- возможность безболезненной замены отдельных компонентов сети другими, более совершенными, что позволяет сети развиваться с минимальными затратами;
- возможность легкого сопряжения одной сети с другой;
- простота освоения и обслуживания сети.

Ярким примером открытой системы является международная сеть Internet, развивающаяся в полном соответствии с требованиями, предъявляемыми к открытым системам. В разработке ее стандартов принимали участие тысячи специалистов. Само название стандартов, определяющих работу сети Internet, – запрос на комментарии (Request For Comments) – показывает гласный и открытый характер принимаемых стандартов. В результате сеть Internet смогла объединить в себе самое разнообразное оборудование и ПО огромного числа сетей, разбросанных по всему миру.

Создание открытых систем является одной из главных тенденций современной индустрии информатики. Более того, переход к открытым информационным системам позволяет существенно ускорить научно-технический прогресс за счет замены длительной и дорогостоящей разработки новых систем по полному циклу их компоновкой из ранее спроектированных подсистем или быстрой модернизацией уже существующих систем [1].

Лидером в области открытых спецификаций и реализации открытых стандартов является корпорация IBM (США), реализовавшая, например, в ПО платформы WebSphere встроенную поддержку открытых стандартов важнейших Web-сервисов и языка описания Web-служб Internet.

## 1.7. Требования к современным компьютерным сетям

### 1.7.1. Показатели качества обслуживания

Главное требование – это выполнение сетью ее основной функции: обеспечение пользователям потенциальной возможности доступа к разделяемым ресурсам всех сетевых компьютеров [1, 5]. Все остальные требования – производительность, надежность, совместимость, управляемость, защищенность, расширяемость и масштабируемость – связаны с качеством выполнения этой основной задачи.

В хотя все упомянутые требования весьма важны, часто понятие «качество обслуживания» (Quality of Service, QoS) компьютерной сети трактуется более узко. Оно включает только две важнейшие характеристики сети – **производительность** и **надежность**. Но независимо от выбранного показателя качества обслуживания сети существуют два общих подхода к его обеспечению.

Первый подход состоит в том, что сеть (точнее, обслуживающий персонал) гарантирует пользователю соблюдение некоторой цифровой величины показателя качества обслуживания. Например, сеть может гарантировать пользователю А, что любой из его пакетов, посланных пользователю В, будет задержан сетью не более, чем на 150 мс. Может гарантироваться и то, что средняя пропускная способность канала А–В не будет ниже 5 Мбит/с, при этом канал будет разрешать пульсации трафика в 10 Мбит на интервалах времени не более 2 с. Например, технологии frame relay и АТМ позволяют строить сети, гарантирующие качество обслуживания по производительности.

Второй подход состоит в том, что сеть обслуживает пользователей в соответствии с их приоритетами. То есть качество обслуживания зависит от степени привилегированности пользователя или группы пользователей. В этом случае гарантируется даже не качество обслуживания, а только уровень привилегий. Такое обслуживание называется обслуживанием с наибольшим старанием (best effort). По такому принципу работают, например, ЛС, построенные на коммутаторах с разными приоритетами кадров [1, 5].

### 1.7.2. Производительность сети

Потенциально высокая производительность за счет распараллеливания работ между несколькими компьютерами сети является одним из основных свойств распределенных систем. Но эту возможность не всегда удастся реализовать. Существует несколько основных характеристик производительности сети [1]:

- время реакции – интегральная характеристика с точки зрения пользователя, говорящего: «Сегодня сеть работает медленно». Определяется интервалом времени запрос-ответ и зависит от многих факторов, в первую очередь, текущей загруженности элементов сети (сегментов, коммутаторов, маршрутизаторов, серверов). Поэтому используют средневзвешенную оценку времени реакции, усредняя этот показатель по пользователям, серверам и даже по времени дня. Следует учитывать и то, что время реакции составляют: 1) время подготовки запроса к передаче, 2) время передачи запроса по сети на сервер, 3) время обработки запроса на сервере, 4) время обратной передачи ответа, 5) время обработки ответа на клиентском ПК. Это дает возможность выявить узкие места для повышения общей производительности сети;
- пропускная способность – отражает объем данных, переданных сетью или ее частью (между любыми двумя точками сети) в единицу времени. Она говорит о скорости выполнения внутренних операций сети – передачи пакетов данных между узлами сети через различные коммуникационные устройства. Пропускная способность непосредственно характеризует качество выполнения основной функции сети (транспортировки сообщений) и поэтому чаще используется при анализе производительности сети, чем время реакции. Она определяется делением объема переданных данных на время передачи, измеряется в битах в секунду либо в пакетах в секунду и может оцениваться как
  - мгновенная, если измеряется в течение очень короткого промежутка времени – 10 мс или 1 с;
  - максимальная – это наибольшая мгновенная пропускная способность, зафиксированная в достаточно большой период наблюдения (например, суточный цикл). Она позволяет оценить

возможность сети справляться с пиковыми нагрузками;

- средняя, если время передачи – час, день или неделя. Она позволяет реально оценить работу сети на большом промежутке времени, когда пики и спады нагрузки компенсируются;
- общая пропускная способность всей сети – среднее количество информации, переданной между всеми узлами в единицу времени. Этот показатель характеризует качество сети в целом;

- задержка передачи – интервал времени между моментом поступления пакета на вход какого-либо сетевого устройства (или части сети) и моментом его появления на выходе этого устройства. Она характеризует только сетевые этапы обработки данных без задержек обработки сетевыми компьютерами. Выделяются: максимальная задержка передачи и вариация задержки. Величина задержки передачи, приемлемая для пакетов файловой службы или службы электронной почты, для пакетов, переносящих голосовые данные или видеоинформацию, может приводить к значительному снижению качества обслуживания.

К сожалению, пропускная способность и задержки передачи являются независимыми параметрами. Например, сеть может обладать достаточно высокой пропускной способностью, но при этом еще и вносить значительные задержки при передаче каждого пакета. Пример такой ситуации дает канал связи, образованный геостационарным спутником. Пропускная способность этого канала весьма высока – 2 Мбит/с, в то время как задержка передачи всегда составляет не менее 0,24 с, что определяется скоростью распространения сигнала (около 300 000 км/с) и длиной канала (72 000 км).

### 1.7.3. Надежность, безопасность и отказоустойчивость

Одной из важнейших целей создания распределенных систем, к которым относятся и сети, является достижение большей **надежности** по сравнению с отдельными компьютерами. При этом важно различать несколько аспектов надежности. Для технических устройств известны такие показатели надежности, как среднее время наработки на отказ, вероятность отказа, интенсивность отказов. Сложные системы, состоящие из многих элементов, кроме состояний работоспособности и

неработоспособности, могут иметь еще и другие промежуточные состояния, которые упомянутые характеристики не учитывают. Поэтому для оценки надежности сложных систем (а в нашем рассмотрении – сетей) применяется другой набор характеристик [1, 5]:

- готовность или коэффициент готовности – доля времени, в течение которого система может быть использована. Повышается введением избыточности;
- сохранность данных, их защита от искажений;
- согласованность (непротиворечивость) копий данных (служба репликации);
- вероятность доставки пакета по сети узлу назначения без искажений;
- вероятность потери пакета (по любой причине);
- вероятность искажения отдельного бита передаваемых данных;
- отношение числа потерянных пакетов к числу доставленных.

Другим аспектом общей надежности является **безопасность** (security) – способность системы защитить данные от несанкционированного доступа, что в распределенной системе по известным причинам сделать гораздо сложнее.

Еще одной характеристикой надежности сети является **отказоустойчивость** (System Fault Tolerance, **SFT**) – способность системы сохранять работоспособность при отказе отдельных ее элементов и скрывать от пользователя подобные ситуации.

#### 1.7.4. Другие требования к сетям

**Расширяемость** – возможность сравнительно легкого добавления отдельных элементов сети (пользователей, компьютеров, приложений, сервисов), наращивания длины сегментов сети и замены существующей сетевой аппаратуры более мощной.

**Масштабируемость** означает, что сеть позволяет наращивать число узлов и протяженность связей в очень широких пределах, при этом производительность сети не ухудшается.

**Прозрачность** – свойство сети скрывать от пользователя детали своего внутреннего устройства, упрощая этим его работу в сети.

**Поддержка разных видов трафика.** Это традиционные

компьютерные данные, которые могут поступать и доставляться неравномерно, и данные мультимедиа (речь, видео), предъявляющие жесткие требования к синхронности доставки.

**Управляемость** – возможность централизованно контролировать состояние основных элементов сети, выявлять и разрешать проблемы в ее работе, выполнять анализ производительности и планировать ее развитие.

**Совместимость** означает, что сеть способна включать в себя самое разнообразное программное и аппаратное обеспечение, которое должно бесконфликтно и бездефектно работать совместно, взаимодействовать в любых допустимых сочетаниях [1, 5].

### 1.8. Контрольные вопросы

1. Опишите основные вехи эволюции сетей.
2. Почему ГС появились раньше, чем ЛС?
3. Опишите различия, достоинства и недостатки гомогенной и гетерогенной моделей распределенных вычислений.
4. Что такое компьютерная сеть и каковы ее основные компоненты?
5. Назовите преимущества использования сетей.
6. Каковы особенности архитектуры «клиент-сервер»?
7. Дайте краткую классификацию компьютерных сетей.
8. Чем отличаются корпоративные сети от ГС?
9. Чем отличаются сети кампусов от сетей мегаполисов?
10. Чем отличаются сети отделов от сетей кампусов?
11. Чем отличаются сети кампусов от корпоративных?
12. Чем отличаются ЛС от сетей кампусов?
13. Чем различаются кодирование и модуляция?
14. Перечислите особенности физической передачи данных по линиям связи.
15. Что такое «топология компьютерной сети»?
16. Изобразите и опишите типовые топологии сетей.
17. Чем логическая топология отличается от физической?
18. Какие требования предъявляются к адресу узла сети?
19. Какие популярные схемы адресации узлов используются в сетях?
20. Как меняется адресация сетевого компьютера в различные моменты передачи данных в составных сетях?

21. Кратко опишите обобщенную задачу коммутации и входящие в нее задачи.
22. Поясните суть мультиплексирования, демупльтиплексирования, разделяемой среды передачи.
23. Опишите особенности, достоинства и недостатки коммутации каналов.
24. Опишите особенности, достоинства и недостатки коммутации пакетов.
25. Опишите особенности, достоинства и недостатки коммутации сообщений.
26. Поясните различия: постоянной и динамической коммутации; организации дейтаграммной передачи и виртуального канала.
27. Каковы особенности коммутаторов сетей с коммутацией пакетов?
28. Какие факторы влияют на пропускную способность сетей с коммутацией пакетов?
29. Чем сегмент отличается от секции и какие ограничения с ними связаны?
30. Назовите сходства и различия повторителя и концентратора.
31. Нарисуйте схему внутренних соединений концентратора Token Ring (4 порта).
32. Нарисуйте схему внутренних соединений концентратора Ethernet (4 порта).
33. Приведите примеры совпадения и несовпадения физической и логической топологии.
34. Назовите недостатки однородной логической структуры сети.
35. Для чего нужна логическая структуризация сети?
36. Для чего нужна локализация трафика?
37. Поясните различия в локализации трафика при использовании моста, коммутатора и маршрутизатора.
38. Для чего нужны и какие бывают сетевые службы?
39. Опишите основные идеи и понятия многоуровневого подхода к организации средств сетевого взаимодействия.
40. Что такое протокол, стандартный протокол, стек протоколов?
41. Что такое модель OSI, в чем суть ее концепции?
42. В чем состоят сходства и различия протокола и интерфейса?
43. Как реализуются интерфейсы уровней модели OSI?
44. Каков порядок прохождения уровней модели OSI при отправке и приеме сообщения?

45. Как меняется состав сообщения при движении по уровням модели OSI при отправке и приеме?
46. Для чего нужны заголовок, поле данных и концевик сообщения?
47. Как получатель сообщения узнает о том, какую работу надо выполнить на уровне 3?
48. Опишите роль и особенности физического и канального уровней модели OSI.
49. Опишите роль и особенности сетевого и транспортного уровней модели OSI.
50. Опишите роль и особенности сеансового, представительного и прикладного уровней модели OSI.
51. На каких уровнях модели OSI работают различные сетевые устройства?
52. Что такое открытые системы, в чем их особенности, что дает их использование?
53. Опишите показатели качества обслуживания.
54. Опишите характеристики производительности сети.
55. Поясните суть требований к сетям: надежности, безопасности и других (кроме производительности).

## ГЛАВА 2. ТЕХНОЛОГИИ ФИЗИЧЕСКОГО И КАНАЛЬНОГО УРОВНЕЙ

### ЦЕЛИ

Освоив эту главу, студенты должны знать:

- организацию и составляющие линий связи, особенности кодирования и передачи данных, методы передачи данных канального уровня, способы мультиплексирования и коммутации каналов;
- особенности беспроводной среды передачи информации и реализации беспроводных систем, спутниковых систем, технологий широкополосного сигнала;
- особенности и технологии первичных сетей PDH, SDH и DWDM.

Любая сетевая технология должна обеспечить надежную и быструю передачу дискретных данных по линиям связи. И хотя между технологиями имеются большие различия, все технологии базируются на разработанных эффективных общих принципах передачи дискретных данных. На основе этих принципов разработаны: 1) методы представления двоичных единиц и нулей с помощью потенциальных, импульсных и синусоидальных сигналов в линиях связи различной физической природы, 2) методы обнаружения и коррекции ошибок, 3) методы компрессии, 4) методы коммутации [1, 5].

### 2.1. Линии связи и кабельные системы

#### 2.1.1. Физическая среда передачи данных

**Линия связи** состоит из физической среды различной природы, по которой передаются информационные сигналы, а также аппаратуры передачи данных и промежуточной аппаратуры. По типу передаваемых сигналов линии делятся на аналоговые, передающие непрерывные сигналы, и цифровые, передающие дискретные сигналы [1].

**Физическая среда** передачи данных может представлять собой провода или кабели, а также земную атмосферу или космическое пространство, через которые распространяются электромагнитные волны.

В первом случае среда называется **проводной**, во втором – **беспроводной**.

В современных телекоммуникационных системах информация передается с помощью электрического тока или напряжения, световых или радиосигналов, причем все эти физические процессы представляют собой колебания электромагнитного поля различной частоты.

В зависимости от среды передачи данных линии связи разделяются на проводные (воздушные), кабельные (медные и волоконно-оптические), радиоканалы наземной и спутниковой связи [1, 5, 8-10].

Проводные (воздушные) линии связи представляют собой провода без изолирующих и экранирующих оплеток, проложенные между столбами и висящие в воздухе. По ним традиционно передаются телефонные или телеграфные сигналы, но могут передаваться и компьютерные данные. Скоростные качества и помехозащищенность этих линий невысоки, поэтому они уже практически вытеснены кабельными линиями.

**Кабельные линии** имеют достаточно сложную конструкцию. Кабель состоит из проводников, заключенных в несколько слоев изоляции (электрической, электромагнитной, механической, климатической). Он оснащен разъемами для быстрого присоединения различного сетевого оборудования. В компьютерных сетях применяются три основных типа кабеля [1, 8-10]:

- коаксиальный кабель – имеет несимметричную конструкцию и состоит из внутренней медной жилы и оплетки, отделенной от жилы слоем изоляции. Существует несколько типов коаксиального кабеля, различающихся характеристиками и областями применения – для ЛС, для ГС и другие;
- витая пара (скрученная пара проводов) – существует в экранированном (с изоляционной оберткой) и неэкранированном вариантах. Скручивание проводов, производится потому, что снижает влияние внешних помех на полезные сигналы;
- волоконно-оптический кабель – состоит из тонких (5-60 мкм) гибких стеклянных волокон, по которым распространяются световые сигналы, обладает отличными электромагнитными и механическими характеристиками. Это наиболее качественный тип кабеля, он обеспечивает передачу данных со скоростью до 10 Гбит/с и выше и обеспечивает самую лучшую защиту данных от внешних помех. В силу

особенностей распространения света такие сигналы легко экранировать. Его недостаток состоит в сложности (соединения волокон с разъемами и между собой) и высокой стоимости монтажных работ.

**Радиоканалы** наземной и спутниковой связи образуются с помощью передатчика и приемника радиоволн. Существует большое число различных типов радиоканалов, различающихся как используемым частотным диапазоном, так и дальностью образованного канала. В частности, диапазоны широковещательного радио – коротких, средних и длинных волн или так называемые диапазоны амплитудной модуляции (Amplitude Modulation, **AM**) – обеспечивают дальнюю связь, но при невысокой скорости передачи данных. Более скоростными являются каналы, работающие в диапазонах очень высоких частот (Very High Frequency, **VHF**), для которых применяется частотная модуляция (Frequency Modulation, **FM**), а также диапазонах ультравысоких частот (Ultra High Frequency, **UHF**) – диапазонах микроволн (свыше 300 МГц). При частоте свыше 30 МГц сигналы уже не отражаются ионосферой Земли, и для устойчивой связи требуется прямая видимость между передатчиком и приемником. Поэтому такие частоты используют спутниковые каналы, радиорелейные каналы, локальные сети и мобильные сети, где это условие выполняется.

В компьютерных сетях сегодня применяются практически все описанные типы физических сред передачи данных. При этом хорошие возможности предоставляют волоконно-оптические кабели, обладающие широкой полосой пропускания и низкой чувствительностью к помехам. На них сегодня строятся как магистрали крупных территориальных и городских сетей, так и высокоскоростные ЛС. Популярной средой является также витая пара, характеризующаяся отличным соотношением качества и стоимости, а также простотой монтажа. С помощью витой пары обычно подключают конечных абонентов сетей на расстояниях до 100 метров от концентратора. **Беспроводные каналы** используются чаще всего в тех случаях, когда кабельные линии связи применить нельзя – например, при прохождении канала через малонаселенную местность или же для связи с мобильными пользователями сети, такими, как шофер, врач и др. Обеспечение мобильности затронуло в первую очередь телефонные сети, компьютерные сети в этом отношении пока отстают.

### 2.1.2. Аппаратура передачи данных и промежуточная аппаратура

Кроме физической среды передачи линии связи включают различную **аппаратуру передачи данных (АПД)** (Data Circuit Equipment, DCE). АПД в компьютерных сетях непосредственно присоединяет компьютеры или коммутаторы к линиям связи, являясь пограничным оборудованием. Примеры АПД: модемы (для телефонных линий), терминальные адаптеры сетей ISDN, устройства для подключения к цифровым каналам первичных сетей.

АПД работает на физическом уровне модели OSI, отвечая за передачу информации в физическую среду (линию) и прием из нее сигналов нужной формы, мощности и частоты. Аппаратура пользователя линии связи, вырабатывающая данные для передачи по линии связи и подключаемая непосредственно к АПД, носит обобщенное название **оконечное оборудование данных (ООД)** (Data Terminal Equipment, DTE). Примеры ООД: компьютеры, коммутаторы и маршрутизаторы. ООД не включают в состав линии связи.

Устройства АПД и ООД работают на расстояниях в несколько метров друг от друга. Для подключения устройств АПД к устройствам ООД существуют стандартные интерфейсы.

**Промежуточная аппаратура** обычно используется в линиях связи большой протяженности. Она решает две основные задачи:

- улучшение качества сигнала;
- создание постоянного составного канала связи между двумя абонентами сети.

В локальных сетях промежуточная аппаратура может вообще не использоваться, если протяженность физической среды (кабеля или радиоэфира) позволяет одному сетевому адаптеру принимать сигналы непосредственно от другого без дополнительного усиления. В противном случае роль промежуточной аппаратуры играют повторители и концентраторы.

В глобальных сетях необходимо обеспечить качественную передачу сигналов на сотни и тысячи километров. Поэтому в территориальных линиях связи используются установленные через определенные

расстояния

- в аналоговых линиях – усилители, повышающие мощность сигналов;
- в цифровых линиях – регенераторы, вместе с повышением мощности восстанавливающие форму исказившихся импульсных сигналов и период их следования.

В первичных сетях кроме упомянутой необходима еще промежуточная **коммутационная аппаратура** – мультиплексоры (MUX), демультиплексоры и коммутаторы. Эта аппаратура создает между двумя абонентами сети постоянный составной канал из отрезков физической среды (кабелей с усилителями).

### 2.1.3. Характеристики линий связи

**Спектральный анализ сигналов на линиях связи.** При определении параметров линии связи важная роль отводится спектральному разложению передаваемого по ней сигнала. Из теории гармонического анализа известно, что любой периодический процесс можно представить в виде суммы синусоидальных колебаний различных частот и различных амплитуд. Здесь каждая составляющая синусоида называется **гармоникой**, а набор всех гармоник – **спектральным разложением** (или **спектром**) исходного сигнала [1]. **Ширина спектра сигнала** равна разности максимальной и минимальной частот гармоник.

Непериодические сигналы можно представить в виде интеграла синусоидальных сигналов с непрерывным спектром частот. Например, спектральное разложение идеального импульса (единичной мощности и нулевой длительности) имеет составляющие всего спектра частот (от  $-\infty$  до  $+\infty$ ).

Техника нахождения спектра любого исходного сигнала хорошо известна:

- для некоторых аналитически описываемых сигналов (последовательности прямоугольных импульсов одинаковой длительности и амплитуды) – по формулам Фурье;
- для сигналов произвольной формы – с помощью специальных измерительных приборов (спектральных анализаторов).

**Искажения сигналов.** Искажение передающим каналом даже одной

синусоиды какой-либо частоты приводит, в конечном счете, к искажению передаваемого сигнала любой формы, особенно если синусоиды различных частот искажаются неодинаково. В частности, если это аналоговый сигнал, передающий речь, то изменяется тембр голоса за счет искажения обертонов (более высоких (боковых) частот). А при передаче импульсных сигналов, характерных для компьютерных сетей, искажаются низкочастотные и высокочастотные гармоники, в результате фронты импульсов теряют свою прямоугольную форму. Вследствие этого на приемном конце линии сигналы могут плохо распознаваться.

**Причины искажений сигналов.** Передаваемые сигналы искажаются из-за несовершенства линий связи. Идеальная среда передачи, не вносящая никаких помех в передаваемый сигнал, должна иметь нулевое сопротивление, емкость индуктивность. А на практике медные провода всегда представляют собой некоторую распределенную по длине комбинацию активного сопротивления ( $R$ ), емкостной ( $C$ ) и индуктивной ( $L$ ) нагрузок. В результате для синусоид различных частот линия будет обладать различным полным сопротивлением, а значит, и передаваться они будут по-разному. Волоконно-оптический кабель также имеет отклонения, мешающие идеальному распространению света.

Если линия связи включает промежуточную аппаратуру, то последняя также может вносить дополнительные искажения, так как невозможно создать устройства, которые бы одинаково хорошо передавали весь спектр синусоид.

А кроме искажений сигналов, вносимых внутренними физическими параметрами самой линии связи, существуют и внешние помехи, которые тоже вносят свой вклад в искажение формы сигналов на выходе линии. Эти помехи создают различные внешние электрические двигатели, электронные устройства, атмосферные явления и т.д. Несмотря на защитные меры, принимаемые разработчиками кабелей, и наличие усилительной и коммутирующей аппаратуры, полностью компенсировать влияние внешних помех, к сожалению, не удастся. Наконец, кроме внешних помех в кабеле существуют еще и внутренние помехи – наводки одной пары проводников на другую.

Таким образом, сигналы на выходе линии связи нередко могут иметь искаженную форму.

### Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) (рис.2.1) [1]

показывает, как затухает амплитуда синусоиды на выходе линии связи ( $A_{\text{вых}}$ ) по сравнению с амплитудой на ее входе ( $A_{\text{вх}}$ ) для всех возможных частот передаваемого сигнала. Популярна и другая подобная характеристика, в которой вместо амплитуды используется мощность сигнала ( $P_{\text{вых}}$ ,  $P_{\text{вх}}$ ). Знание АЧХ реальной линии позволяет определить форму выходного сигнала практически для любого входного сигнала. Для этого необходимо найти спектр (набор гармоник) входного сигнала, преобразовать амплитуду составляющих его гармоник в соответствии с АЧХ (по-разному ее уменьшая), а затем найти форму выходного сигнала, сложив преобразованные гармоники.

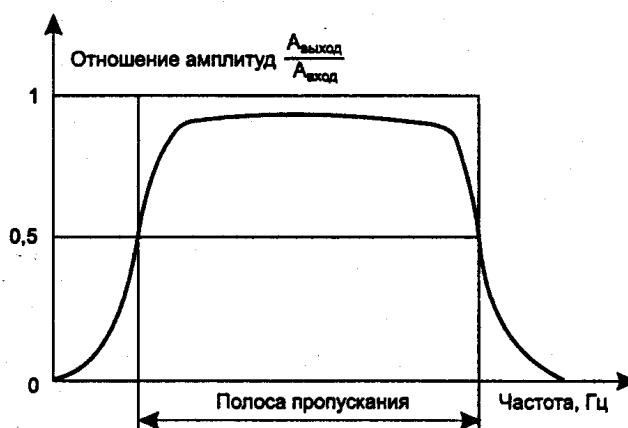


Рис.2.1. АЧХ

Однако определение АЧХ – весьма сложный и долгий процесс. Поэтому на практике вместо АЧХ применяются другие, упрощенные характеристики, такие как полоса пропускания и затухание.

**Полоса пропускания** – это непрерывный диапазон частот, для которого отношение амплитуды выходного сигнала к входному превышает некоторый заранее заданный предел, обычно **0,5** (рис.2.1). То есть полоса пропускания определяет диапазон частот синусоидального сигнала, при которых этот сигнал передается по линии связи без значительных искажений. А ширина полосы пропускания в наибольшей степени влияет на максимально возможную скорость передачи информации по линии связи. Поэтому значимые гармоники сигнала (с большим значением амплитуды, вносящие значимый вклад при суммировании) должны попадать в полосу пропускания (не искажаться значительно). На самом деле это проблема, которую должны были решить

разработчики любой базовой технологии, что мы и проверим позднее, при их изучении.

**Затухание** показывает, насколько уменьшается мощность эталонного синусоидального сигнала на выходе линии связи ( $P_{\text{вых}}$ ) по отношению к мощности сигнала на ее входе ( $P_{\text{вх}}$ ). Затухание ( $A$ ) измеряется в децибелах (дБ) по формуле:  $A = 10 \lg (P_{\text{вых}}/P_{\text{вх}})$ .

Затухание зависит от длины линии связи. Поэтому в качестве характеристики линии связи используется так называемое **погонное затухание** – затухание на линии связи определенной длины. Для кабелей локальных сетей используют значение 100 м, для территориальных линий связи – 1 км.

Обычно затухание происходит на пассивных участках линии связи, состоящих из кабелей и кроссовых коробок без усилителей, и регенераторов. Поскольку здесь мощность  $P_{\text{вых}} < P_{\text{вх}}$ , затухание кабеля всегда является отрицательной величиной.

Степень затухания мощности синусоидального сигнала зависит от частоты синусоиды, и эта зависимость также используется для характеристики линии связи (подобно рис.2.1).

Чаще всего при описании параметров линии связи приводятся значения затухания всего для нескольких значений частот. Это упрощает измерения при проверке качества линии. Кроме того, часто заранее известна так называемая основная частота передаваемого сигнала, гармоника которой имеет наибольшую амплитуду и мощность. Поэтому достаточно знать затухание на этой частоте, чтобы приблизительно оценить искажения передаваемых по линии сигналов.

Важным параметром медной линии связи является ее **волновое сопротивление** (импеданс) – полное (комплексное) сопротивление, которое встречает электромагнитная волна определенной частоты при распространении вдоль однородной цепи. Волновое сопротивление измеряется в Ом и зависит от активного сопротивления, погонной индуктивности, погонной емкости, частоты сигнала. Выходное сопротивление передатчика должно быть согласовано с волновым сопротивлением линии, иначе затухание сигнала будет чрезмерно большим.

**Помехоустойчивость линии** – ее способность противостоять влиянию помех, создаваемых во внешней среде или на внутренних проводниках самого кабеля. Помехоустойчивость линии зависит от типа используемой физической среды, а также от экранирующих и подавляющих помехи средств самой линии. Между цепями могут возникать электрическая и магнитная связь, в результате чего появляются наведенные сигналы (наводки): перекрестные наводки на ближнем конце кабеля, перекрестные наводки на дальнем конце кабеля.

Еще одним практически важным показателем является **защищенность кабеля** – разность между уровнями полезного сигнала и помех. Чем больше значение защищенности кабеля, тем с потенциально более высокой скоростью можно передавать по нему данные.

**Достоверность передачи данных (интенсивность битовых ошибок)** характеризует вероятность искажения каждого передаваемого бита данных. Ее значение, например,  $10^{-4}$  говорит о том, что в среднем из 10000 битов искажается значение 1 бита.

Таким образом, можно сказать, что **полоса пропускания** – это непрерывный диапазон частот, для которого затухание не превышает некоторый заранее заданный предел. Полоса пропускания зависит от типа линии и ее протяженности. Примеры известных полос пропускания:

- телефонный канал тональной частоты (ТЧ) – 300 Гц ÷ 3400 Гц;
- витая пара – 100 Гц ÷ 200 МГц;
- коаксиальный кабель – 80 Гц ÷ 700 МГц;
- волоконно-оптический кабель – 50 Гц ÷ 10 ГГц.

Примеры общеизвестных частотных диапазонов:

- звуковой – 20 Гц ÷ 20 КГц;
- АМ-радио – 100 КГц ÷ 2 МГц;
- FM-радио – 40 МГц ÷ 200 МГц;
- Каналы сверхвысоких частот (СВЧ) – 1 ГГц ÷ 50 ГГц;
- Инфракрасные лучи – 30 ТГц ÷ 100 ТГц;
- Видимый свет – 200 ТГц ÷ 2000 ТГц;
- Ультрафиолетовые лучи – 2000 ТГц ÷ 20000 ТГц.

**Пропускная способность** линии характеризует максимально возможную скорость передачи данных, которая может быть достигнута на

этой линии, и измеряется в бит/с (характерно, что в сетевых технологиях  $1 \text{ Кбит/с} = 1000 \text{ бит/с}$ ). Пропускная способность зависит от параметров физической среды и определяется способом передачи данных. Следовательно, нельзя говорить о пропускной способности линии связи, пока для нее не определен протокол физического уровня.

Например, пропускная способность цифровой линии всегда известна, так как на ней определен протокол физического уровня, задающий битовую скорость передачи данных – 64 Кбит/с, 2 Мбит/с и т.п. В тех же случаях, когда еще только предстоит выбрать, какой из множества существующих протоколов использовать на данной линии, очень важными являются остальные, уже упоминавшиеся характеристики линии, такие как полоса пропускания, перекрестные наводки, помехоустойчивость и другие.

Пропускная способность линии связи зависит не только от ее характеристик (затухание, полоса пропускания), но и от ширины спектра (разности максимальной и минимальной частот) передаваемых сигналов – ее желательно уменьшать.

Выбор способа представления дискретной информации в виде сигналов, подаваемых на линию связи, называется **физическим** или **линейным кодированием**. От выбранного способа кодирования зависит спектр сигналов и пропускная способность линии, а также скорость передачи данных [1, 5, 8-10].

#### **2.1.4. Стандарты кабелей**

В компьютерных сетях применяются кабели, удовлетворяющие определенным стандартам, что позволяет строить кабельную систему сети из кабелей и соединительных устройств разных производителей. При стандартизации кабелей принят протольно-независимый подход. Это означает, что в стандартах оговариваются электрические, оптические и механические характеристики, которым должен удовлетворять тот или иной тип кабеля, разъема, кроссовой коробки и т. п., без ориентации на какой-то конкретный протокол. Поэтому нельзя приобрести кабель, скажем, для протокола (Ethernet), а следует знать, какие типы стандартных кабелей поддерживает интересующий протокол. Наиболее важные характеристики кабелей:

- погонное затухание – измеряется в дБ/м для определенной частоты или диапазона частот сигнала;
- перекрестные наводки на ближнем/дальнем конце – измеряются в дБ для определенной частоты;
- импеданс (волновое сопротивление) – это полное (активное и реактивное) сопротивление в электрической цепи. Измеряется в Омах и является относительно постоянной величиной. Например, для коаксиальных кабелей составляет 50 Ом, для неэкранированной витой пары – 100 и 120 Ом. В области высоких частот (100-200 МГц) импеданс зависит от частоты;
- активное сопротивление – сопротивление постоянному току в электрической цепи. В отличие от импеданса не зависит от частоты и возрастает с увеличением длины кабеля;
- емкость – свойство металлических проводников накапливать энергию. Два проводника в кабеле, разделенные диэлектриком, образуют конденсатор, способный накапливать заряд. Высокое значение емкости приводит к искажению сигнала и ограничивает полосу пропускания линии;
- уровень внешнего электромагнитного излучения (электрический шум) – нежелательное переменное напряжение в проводнике. Измеряется в мВ. Электрический шум бывает: фоновый и импульсный; низко-, средне- и высокочастотный. Источники фонового шума: (до 150 КГц) – линии электропередач, телефоны, лампы дневного света; (150 КГц ÷ 20 МГц) – компьютеры, принтеры, ксероксы; (20 МГц ÷ 1 ГГц) – телевизионные и радиопередатчики, микроволновые печи. Источники импульсного шума: моторы, переключатели, сварочные агрегаты;
- диаметр или площадь сечения проводника [1, 8-10].

**Коаксиальные кабели.** Существует большое число типов коаксиальных кабелей, например:

- RG-8, RG-11 – «толстый» коаксиальный кабель, используется только в сетях Ethernet 10Base-5, имеет волновое сопротивление – 50 Ом, плохо гнется, поэтому его сложно монтировать;
- RG-58 /U (имеет сплошной внутренний проводник), RG-58 A/U (многожильный), RG-58 C/U (военная приемка) – разновидности «тонкого» коаксиального кабеля, используются в сетях Ethernet

## 10Base-2.

**Кабели на основе витой пары.** Преимущества использования витой пары по сравнению с коаксиальным кабелем:

- возможность работы в дуплексном режиме;
- низкая стоимость кабеля «витой пары»;
- более высокая надёжность сетей при неисправности в кабеле (соединение точка-точка: обрыв кабеля лишает связи два узла. В коаксиале используется топология «шина», обрыв кабеля лишает связи весь сегмент);
- минимально допустимый радиус изгиба меньше;
- большая помехозащищённость из-за использования дифференциального сигнала;
- возможность питания по кабелю маломощных узлов, например IP-телефонов (стандарт Power over Ethernet, POE);
- гальваническая развязка трансформаторного типа. При использовании коаксиального кабеля в российских условиях, где, как правило, отсутствует заземление компьютеров, применение коаксиального кабеля часто сопровождалось пробоем сетевых карт и иногда даже полным «выгоранием» системного блока [11].

**Кабели на основе неэкранированной витой пары (Unshielded Twisted Pair, UTP).** Медный неэкранированный кабель UTP делится на следующие категории:

- 1 – 1-парный телефонный кабель для цифровой и аналоговой передачи голоса, и низкоскоростной (до 20 Кбит/с) передачи данных;
- 2 – 2-парный кабель для передачи сигналов со спектром до 1 МГц на скоростях до 4 Мбит/с, использовался в сетях Token Ring и Arcnet;
- 3 – 4-парный кабель для передачи голоса и данных в диапазоне частот до 16 МГц, используется при построении телефонных и локальных сетей 10Base-T и Token Ring, поддерживает скорость передачи данных до 10 Мбит/с или 100 Мбит/с по технологии 100Base-T4 на расстоянии до 100 м. В отличие от предыдущих двух, отвечает требованиям стандарта IEEE 802.3 [12];
- 4 – 4-парный кабель, улучшение категории 3; используется сравнительно редко: для частот до 20 МГц, расстояний до 135 м, в сетях Token Ring 16 Мбит/с;

- 5 – 4-парный кабель для поддержки более скоростных протоколов в диапазоне частот до 100 МГц. На этом кабеле работают протоколы 100 Мбит/с – FDDI, Fast Ethernet, 100VG-AnyLAN, а также АТМ (155 Мбит/с) и Gigabit Ethernet (1000 Мбит/с). Кабель категории 5 пришел на смену кабелю категории 3, и кабельные системы крупных зданий строятся на нем (в сочетании с волоконно-оптическим) или еще более современных;
- 5е (100 МГц) – 4-парный кабель, усовершенствованная категория 5. Скорость передачи данных до 100 Мбит/с при использовании 2 пар и до 1000 Мбит/с при использовании 4 пар. Является самым распространенным и используется для построения компьютерных сетей. Иногда встречается как 2-парный. Преимущества данного кабеля в более низкой себестоимости и меньшей толщине;
- 6 (250 МГц) – 4-парный кабель, применяется в сетях Fast Ethernet и Gigabit Ethernet, способен передавать данные на скорости до 10 Гбит/с на расстояние до 55 м (2002 г.);
- 6а (500 МГц) – 4-парный кабель для сетей Gigabit Ethernet, скорость передачи данных до 10 Гбит/с на расстояние до 100 м. (2008 г.);
- 7 (600 МГц) – скорость передачи данных до 10 Гбит/с. Кабель этой категории имеет общий экран и экраны вокруг каждой пары. Это не UTP, а S/FTP (Screened / Fully Shielded Twisted Pair);
- 7а (до 1200 МГц) - разработана для передачи данных на скоростях до 40 Гбит/с на расстояние до 50 м и до 100 Гбит/с на расстояние до 15 м [1, 12].

Каждая пара кабеля UTP имеет определенный цвет и шаг скрутки. Обычно две пары 4-х парного кабеля предназначены для передачи данных, а две другие – для передачи голоса.

Кабели UTP 6 и 7 предназначены для поддержки высокоскоростных протоколов на отрезках длиной больше, чем позволяет UTP 5.

Кабель UTP с разъемом **8P8C** (ошибочно называемым RJ-45) используется в Ethernet-сетях стандартов 10BASE-T, 100BASE-T(X) и 1000BASE-T(X) [11].

**Кабели на основе экранированной витой пары (Shielded Twisted Pair, STP).** STP хорошо защищает сигналы от внешних помех, меньше излучает, лучше защищает пользователей от вредного излучения;

применяется только для передачи данных. Наличие заземляемого экрана удорожает кабель и усложняет его прокладку, так как требует качественного заземления. Делится на типы Туре 1-9, например:

- Туре 1 – состоит из 2 витых пар, экранированных проводящей оплеткой, которая заземляется. Его электрические параметры примерно соответствуют UTP категории 5, но волновое сопротивление равно 150 Ом;
- Туре 2 – Туре 1 с добавленными 2 парами неэкранированного провода для передачи голоса.

Причиной перехода на оптический кабель была необходимость увеличить длину сегмента без повторителей [11].

**Волоконно-оптические кабели.** Состоят из центрального проводника света (сердцевины) – стеклянного волокна, окруженного стеклянной оболочкой с меньшим показателем преломления (рис.2.2).

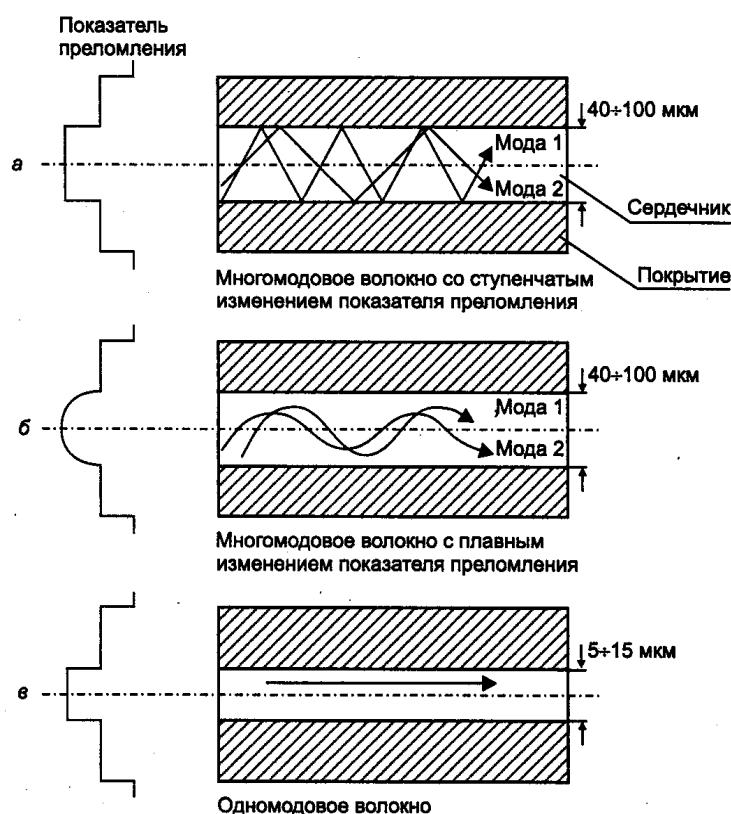


Рис.2.2. Волоконно-оптические кабели

В настоящее время развивается применение в волоконно-оптических кабелях пластиковых (полимерных) оптических волокон вместо кварцевого и более современных стекол [13]. Распространяясь по сердцевине, лучи света не выходят за пределы оболочки, отражаясь от покрывающего слоя оболочки. Режим распространения световых лучей во

внутреннем сердечнике кабеля, точнее, угол или период отражения, называется **модой**.

В зависимости от распределения показателя преломления и от величины диаметра сердечника различают [1, 5]:

- **многомодовое** волокно со ступенчатым изменением показателя преломления, где показатель преломления от оболочки к сердцевине изменяется скачкообразно (рис.2.2, а). Диаметр сердечника/оболочки – 62,5/125 мкм (Северная Америка, Япония) и 50/125 мкм (Европа). Существует несколько световых лучей одновременно с разными модами (каждая под своим углом), из-за чего импульс света испытывает дисперсионные искажения и из прямоугольного превращается в подобный колоколу;
- **многомодовое** волокно с плавным изменением показателя преломления (градиентным профилем), где показатель преломления сердцевины плавно возрастает от края к центру (рис.2.2, б). Режим распространения каждой моды имеет более сложный характер. Профиль показателя преломления градиентного волокна может быть параболическим, треугольным, ломаным и др. Многомодовые кабели имеют более узкую полосу пропускания – от 500 до 800 МГц/км. Сужение полосы происходит из-за потерь световой энергии при отражениях, а также интерференции лучей разных мод;
- **одномодовое** волокно (рис.2.2, в). Диаметр сердечника меньше – 5÷10 мкм; стоимость выше, поскольку изготовить его сложнее. Практически все лучи распространяются вдоль оптической оси световода, не отражаясь от внешнего проводника. Полоса пропускания – до сотен ГГц/км.

Область эффективного использования современных оптических волокон (по затуханию) ограничивается тремя (пронумерованными) окнами прозрачности, которым соответствуют длины волн (первое) 850 нм, (второе) 1300 нм, (третье) 1550 нм (и соответственно частоты 35 ТГц, 23 ТГц, 19,4 ТГц). Третье окно прозрачности (1550 нм) обеспечивает наименьшие потери, а значит, и максимальную дальность при фиксированной мощности передатчика и фиксированной чувствительности приемника.

Вследствие интерференции лучей качество передаваемых в многомодовом оптическом волокне сигналов снижается (искажаются передаваемые импульсы). Поэтому технические характеристики многомодовых кабелей хуже, чем одномодовых.

В результате многомодовые кабели используются в основном для передачи данных на скоростях не более 1 Гбит/с на небольшие расстояния (от 300 м до 2000 м), а одномодовые – для передачи данных со сверхвысокими скоростями в несколько десятков Гбит/с, а при использовании технологии DWDM – до нескольких Тбит/с на расстояния до нескольких десятков или сотен километров.

В качестве источников света в волоконно-оптических кабелях применяются: в многомодовых – более дешевые светодиоды или светоизлучающие диоды; в одномодовых – полупроводниковые лазеры или лазерные диоды [1, 13-14].

Основное применение оптические волокна находят в качестве среды передачи на волоконно-оптических телекоммуникационных сетях различных уровней: от межконтинентальных магистралей до домашних компьютерных сетей. Применение оптических волокон для линий связи обусловлено тем, что оптическое волокно обеспечивает высокую защищенность от несанкционированного доступа, низкое затухание сигнала при передаче информации на большие расстояния и возможность оперировать с чрезвычайно высокими скоростями передачи. Уже к 2006 г. была достигнута скорость модуляции 111 ГГц, в то время как скорости 10 40 Гбит/с и 40 Гбит/с стали уже стандартными скоростями передачи по одному каналу оптического волокна. При этом каждое волокно, используя технология спектрального уплотнения каналов может передавать данные до нескольких сотен каналов одновременно, обеспечивая общую скорость передачи информации в несколько Тбит/с [13].

### **2.1.5. Структурированные кабельные системы зданий**

**Структурированная кабельная система (СКС)** здания – это набор коммутационных элементов (кабелей, разъемов, коннекторов, кроссовых панелей и шкафов), а также методика их совместного использования, которая позволяет создавать регулярные, легко расширяемые структуры связей в компьютерных сетях. Здание представляет собой достаточно

регулярную структуру (этажи – коридоры – комнаты), что предопределяет соответствующую структуру его кабельной системы.

СКС здания представляет собой своеобразный «конструктор», с помощью которого проектировщик сети строит требуемую конфигурацию из стандартных кабелей, соединенных стандартными разъемами и коммутируемых на стандартных кроссовых панелях. При необходимости можно добавить компьютер, сегмент, коммутатор, изъять ненужное оборудование, изменить соединение и т.п.

СКС здания обеспечивает объединение нескольких ЛС расположенных в нем организаций или их подразделений.

Общая СКС предприятия, охватывающая несколько зданий, планируется и строится иерархически и включает следующие уровни (сверху-вниз):

- коммуникационные средства предприятия – главная информационная магистраль;
- подсистема кампуса – объединяет несколько зданий с главной аппаратной всего кампуса;
- вертикальные подсистемы зданий – в каждом здании соединяют кроссовые шкафы этажей с центральной аппаратной здания;
- горизонтальные подсистемы, соответствующие этажам здания – соединяют кроссовые шкафы этажа с розетками пользователей;
- рабочие места пользователей.

Использование СКС вместо хаотически проложенных кабелей дает предприятию универсальную среду для передачи разнообразной информации, автоматизации ее контроля и мониторинга, а также гибкость в развитии сетевой инфраструктуры [1].

Оптическое волокно пропускает сигнал со скоростью до 1 Тбит/с, единственным ограничителем пропускной способности волоконно-оптических сетей являются трансиверы, преобразующие электрические сигналы в световые. Постепенно наращивая пропускную способность периферийного оборудования, вы можете до 25 лет не заботиться о прокладке новых кабельных трасс, поскольку оптическое волокно не только широкополосно, но и долговечно.

Для организации сети офиса, расположенного на одном этаже

достаточно двухволоконного дуплексного многомодового оптического кабеля (zip-cord). Он же прекрасно подойдет для терминальной разводки. Однако если есть необходимость прокладывать кабельные магистрали между этажами, лучше воспользоваться многомодульным кабелем для вертикальной прокладки. Если прокладка кабеля идет по улице (по наружной стене, на опорах, в кабельной канализации), стоит выбрать кабель в плотном буфере для внешней прокладки с металлическим тросом. Магистральные кабели могут включать до 24 волокон [15].

## 2.2. Кодирование и передача данных

Рассмотренные проводные среды предоставляют только потенциальную возможность передачи дискретной информации. Чтобы передатчик и приемник могли обмениваться информацией, им необходимо договориться о том, какие сигналы будут соответствовать двоичным единицам и нулям дискретной информации. Для представления дискретной информации в среде передачи данных применяются сигналы двух типов [1, 8-10]:

- синусоидальные волны, с которыми связан термин «модуляция»;
- прямоугольные импульсы (или потенциалы), которым соответствует термин «кодирование».

Эти способы различаются шириной спектра результирующего сигнала и сложностью аппаратуры, необходимой для их реализации. При использовании прямоугольных импульсов спектр результирующего сигнала получается весьма широким, поскольку спектр идеального импульса имеет бесконечную ширину. Применение синусоиды приводит к спектру гораздо меньшей ширины при той же скорости передачи информации. Однако для реализации синусоидальной модуляции требуется более сложная и дорогая аппаратура, чем для реализации прямоугольных импульсов.

В настоящее время все чаще данные, изначально имеющие аналоговую форму (речь, музыка, телевизионное изображение), оцифровываются и передаются по каналам связи уже в дискретном виде последовательностью единиц и нулей.

## 2.2.1. Модуляция при передаче аналоговых и дискретных сигналов

В самом общем случае **модуляция** представляет собой изменение одного сигнала в соответствии формой другого сигнала или по каким-то внешним правилам. Исторически модуляция сначала стала применяться для аналоговой информации и только потом для дискретной.

**Модуляция при передаче аналоговых сигналов.** Необходимость в модуляции аналоговой информации возникает, когда требуется передать низкочастотный аналоговый сигнал через канал, находящийся в высокочастотной области спектра. Примеры: передача голоса по радио или телевидению. Голос имеет спектр шириной примерно 10 КГц, а радиодиапазоны включают гораздо более высокие частоты (30 КГц – 300 МГц). Телевидение использует еще более высокие частоты. Очевидно, что голос непосредственно передать через такую среду нельзя.

Для решения этой проблемы амплитуду высокочастотного несущего сигнала изменяют (**модулируют**) в соответствии с изменением низкочастотного голосового (речевого) сигнала (рис.2.3). Такой тип модуляции называется **амплитудой модуляцией** [1, 5]. При этом спектр результирующего сигнала попадет в нужный высокочастотный диапазон.

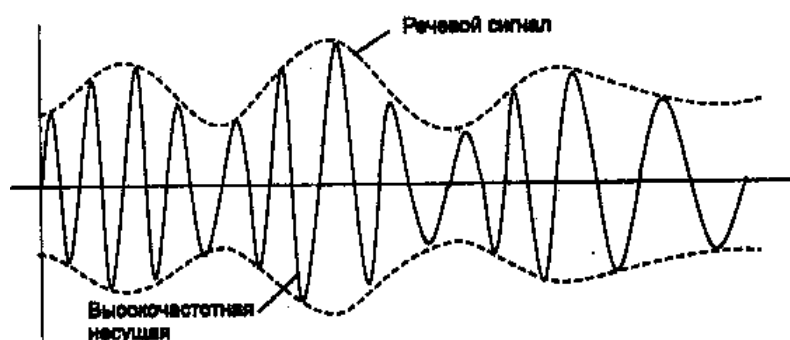


Рис.2.3. Модуляции высокочастотного несущего синусоидального сигнала низкочастотным голосовым (речевым) сигналом

Если в качестве информационного параметра используют частоту несущего синусоидального сигнала, мы имеем дело с **частотной модуляцией**.

**Модуляция при передаче дискретных сигналов.** При передаче дискретной информации посредством модуляции единицы и нули могут кодироваться изменением амплитуды, частоты или фазы несущего

синусоидального сигнала. В случае, когда модулированные сигналы передают дискретную информацию, вместо термина «модуляция» может использоваться альтернативный термин «манипуляция».

Ярким примером применения модуляции при передаче дискретной информации является передача компьютерных данных по телефонным каналам с узкой полосой частот. Стандартный абонентский составной канал ТЧ, предоставляемый в распоряжение пользователям общественных телефонных сетей, проходит через коммутаторы телефонной сети и соединяет телефоны абонентов. Он передает частоты в диапазоне  $300 \text{ Гц} \div 3400 \text{ Гц}$ , его полоса пропускания –  $3100 \text{ Гц}$ . И хотя человеческий голос имеет гораздо более широкий спектр –  $100 \text{ Гц} \div 10 \text{ КГц}$ , для приемлемого качества передачи голоса и полоса  $3100 \text{ Гц}$  является хорошим решением. Строгое ограничение ширины полосы пропускания канала ТЧ связано с использованием аппаратуры уплотнения и коммутации каналов в телефонных сетях.

Однако полоса пропускания  $3100 \text{ Гц}$  недостаточно широка для передачи компьютерных данных в виде прямоугольных импульсов. Решение проблемы было найдено благодаря аналоговой модуляции. Устройство, которое выполняет функцию модуляции несущей синусоиды на передающей стороне и функцию демодуляции на приемной стороне, носит название **модем** (модулятор-демодулятор).

На рис.2.4 показаны различные способы модуляции, применяемые при передаче дискретной информации [1], где на графике **а** показана последовательность битов исходной информации, логические единицы представлены потенциалами высокого уровня, логические нули – низкого.

При амплитудной модуляции (график **б**) для логической единицы выбирается один уровень амплитуды синусоиды несущей (высокий) частоты, логического нуля – другой (низкий). Этот способ редко используется в чистом виде из-за низкой помехоустойчивости, но часто применяется вместе с фазовой модуляцией.

При частотной модуляции (график **в**) значения 0 и 1 исходных данных передаются синусоидами различной частоты:  $f_1$  (меньшей) и  $f_2$  (большей). Этот способ модуляции не требует сложных схем в модемах и обычно применяется в низкоскоростных модемах, работающих на скоростях 300 или 1200 бит/с. При использовании только двух частот за

один такт передается один бит информации, что называется двоичной частотной манипуляцией. Может использоваться также четыре различных частоты для кодирования двух битов информации в одном такте – четырехуровневая (или многоуровневая) частотная манипуляция.

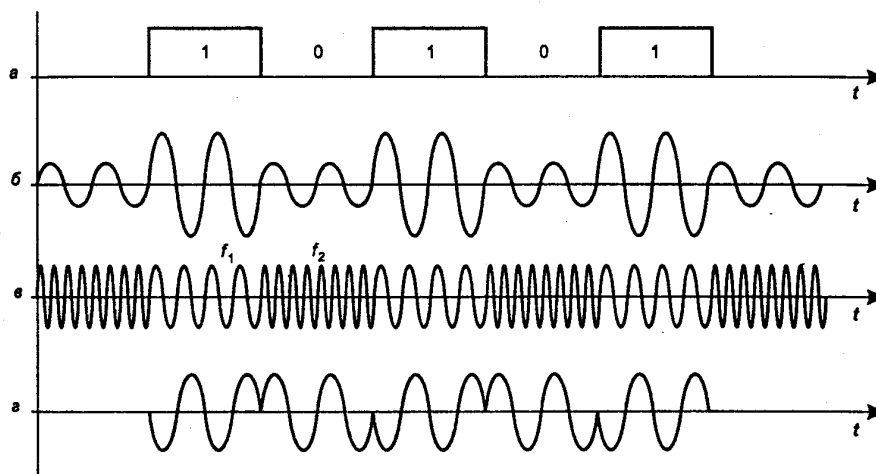


Рис.2.4. Способы модуляции: а – двоичная информация; б – амплитудная модуляция; в – частотная модуляция; г – фазовая модуляция

При фазовой модуляции (график г) значениям данных 0 и 1 соответствуют сигналы одинаковой частоты, но с различной фазой, например, 0 и 180 градусов (двоичная фазовая манипуляция) или 0, 90, 180 и 270 градусов (квадратурная фазовая манипуляция).

**Комбинированные методы модуляции** используются для повышения скорости передачи данных. Наиболее распространенными являются методы квадратурной амплитудной модуляции, основанные на сочетании фазовой и амплитудной модуляции. Например, в варианте модуляции могут использоваться 8 различных значений фазы (через  $45^\circ$ ) и 4 значения амплитуды (высокое и низкое каждого знака). Но из 32 возможных комбинаций сигнала задействовано только 16, так как разрешенные значения амплитуд у соседних фаз отличаются. Это повышает помехоустойчивость кода, но вдвое снижает скорость передачи данных.

### 2.2.2. Дискретизация аналоговых сигналов

В параграфе 2.2.1 было рассмотрено преобразование дискретной формы представления информации в аналоговую (см. рис. 2.4). Сейчас рассмотрим обратную задачу – преобразование и передачу аналоговой

информации в дискретной форме. Эта задача была решена в 60-е годы, когда голос стали передавать по телефонным сетям в виде последовательности единиц и нулей. Основной причиной такого преобразования является невозможность улучшения качества принятых данных, переданных в аналоговой форме, если они существенно исказились при передаче. А дело здесь в том, что сам принятый аналоговый сигнал не дает никаких указаний ни о том, что произошло искажение, ни о том, как его исправить, поскольку форма принятого сигнала может быть любой, в том числе и такой, какой ее зафиксировал приемник. Улучшение же качества линий, особенно территориальных, требует огромных усилий и капиталовложений. Поэтому на смену аналоговой технике записи и передачи звука и изображения пришла цифровая техника. В ней используется так называемая **дискретная модуляция** исходных непрерывных во времени аналоговых процессов.

**Импульсно-кодовая модуляция.** Рассмотрим принципы дискретной модуляции на примере импульсно-кодовой модуляции (Pulse Code Modulation, **PCM**), которая широко применяется в цифровой телефонии, оцифровке аудио и других целях.

Дискретные способы модуляции основаны на дискретизации непрерывных процессов, как по амплитуде, так и по времени.

Амплитуда исходной непрерывной функции измеряется с заданным периодом – за счет этого происходит дискретизация по времени. Затем каждый замер представляется в виде двоичного числа определенной разрядности (с точностью, зависящей от числа разрядов его представления), что означает дискретизацию по амплитуде, когда непрерывное множество возможных значений амплитуды заменяется их дискретным множеством. Подобную функцию выполняет аналого-цифровой преобразователь (**АЦП**). После этого замеры передаются по каналам связи в виде последовательности единиц и нулей. При этом применяются те же методы кодирования, что и в случае передачи изначально дискретной информации (например, метод 2B1Q, рассматриваемый далее).

На приемной стороне линии коды преобразуются в исходную последовательность битов, а цифро-аналоговый преобразователь (**ЦАП**) производит демодуляцию оцифрованных амплитуд сигнала,

восстанавливая исходную непрерывную функцию времени.

Дискретная модуляция основана на теории отображения Найквиста. В соответствии с этой теорией, аналоговая непрерывная функция, переданная в виде последовательности ее дискретных по времени значений, может быть точно восстановлена, если частота дискретизации была в два или более раз выше, чем частота самой высокой гармоники спектра исходной функции. Если это условие не соблюдается, то восстановленная функция будет существенно отличаться от исходной.

Преимуществом цифровых методов записи, воспроизведения и передачи аналоговой информации является возможность контроля достоверности считанных с носителя или полученных по линии связи данных. Для этого можно применять те же методы, которые применяются для компьютерных данных (вычисление контрольной суммы, повторная передача искаженных кадров, использование самокорректирующихся кодов).

**Оцифровка голоса.** Для качественной передачи голоса, с учетом теории Найквиста, в методе РСМ используется частота квантования амплитуды звуковых колебаний, равная **8000 Гц**. Это связано с тем, что в аналоговой телефонии для передачи голоса был выбран диапазон 300÷3400 Гц, который достаточно качественно передает все основные гармоники собеседников. В соответствии с теоремой Найквиста–Котельникова для качественной передачи голоса достаточно выбрать частоту дискретизации, в два раза превышающую самую высокую гармонику непрерывного сигнала:  $2 \times 3400 \text{ Гц} = 6800 \text{ Гц}$ . Выбранная в действительности частота дискретизации 8000 Гц обеспечивает некоторый запас качества. В методе РСМ обычно используется 7 или 8 битов кода для представления амплитуды одного замера. Соответственно это дает  $2^7 = 128$  или  $2^8 = 256$  градаций звукового сигнала, что оказывается вполне достаточным для качественной передачи голоса.

При использовании метода РСМ в зависимости от того, каким числом (7 или 8) битов представляется каждый замер, для передачи одного голосового канала необходима соответствующая пропускная способность:  $8000 \text{ Гц} \times 7 \text{ бит} = 56 \text{ Кбит/с}$  или  $8000 \text{ Гц} \times 8 \text{ бит} = 64 \text{ Кбит/с}$ . Стандартным является цифровой канал **64 Кбит/с**, который также называется элементарным каналом цифровых телефонных сетей.

Передача непрерывного сигнала в дискретном виде требует от сетей жесткого соблюдения временного интервала между соседними замерами в 125 мкс, соответствующего частоте дискретизации 8000 Гц ( $1/8000 \text{ Гц} = 125 \text{ мкс}$ ), то есть требует синхронной передачи данных между узлами сети. При несоблюдении синхронности прибывающих замеров исходный сигнал восстанавливается неверно, что приводит к искажению голоса, изображения или другой информации мультимедиа. Так, искажение синхронизации в 10 мс может привести к эффекту «эха», а сдвиги между замерами в 200 мс – к потере распознаваемости произносимых слов. В то же время даже потеря одного замера при соблюдении синхронности между остальными замерами практически не сказывается на воспроизводимом звуке. Это происходит за счет наличия сглаживающих устройств в ЦАП, работа которых основана на свойстве инерционности любого физического сигнала, когда амплитуда звуковых колебаний не может мгновенно измениться на большую величину.

На качество сигнала после ЦАП влияет не только синхронность поступления замеров на его вход, но и погрешность дискретизации амплитуд этих замеров. В теореме Найквиста–Котельникова предполагается, что амплитуды функции измеряются точно. В то же время использование для их хранения двоичных чисел с ограниченной разрядностью несколько искажает эти амплитуды. Соответственно искажается и восстановленный непрерывный сигнал, что называется **шумом дискретизации** (по амплитуде).

Существуют и другие методы дискретной модуляции, позволяющие представить замеры голоса в более компактной форме, например, в виде последовательности 4-битных или даже 2-битных чисел. При этом один голосовой канал требует меньшей пропускной способности (например, 32 Кбит/с, 16 Кбит/с). С 1985 года применяется стандарт кодирования голоса Adaptive Differential PCM (**ADPCM**). Коды ADPCM основаны на нахождении разностей между последовательными замерами голоса, которые затем и передаются по сети. Для хранения одной разности используются 4 бита и голос передается со скоростью 32 Кбит/с. Более современный метод – линейное предсказуемое кодирование (Linear Predictive Coding, **LPC**) – делает замеры исходной функции более редко, но использует методы прогнозирования направления изменения амплитуды сигнала. При помощи этого метода можно понизить скорость

передачи голоса до 9600 бит/с.

Ввиду различных задержек качество голоса при передаче в цифровой форме через компьютерные сети обычно бывает невысоким. Для качественной передачи оцифрованных непрерывных сигналов (голоса, изображения) сегодня используют специальные цифровые сети – ISDN, ATM, и сети цифрового телевидения. Тем не менее, для передачи внутрикорпоративных телефонных разговоров сегодня используются сети frame relay, задержки передачи кадров которых укладываются в допустимые пределы.

### 2.2.3. Методы кодирования

При кодировании дискретной информации применяют потенциальные и импульсные коды. В потенциальных кодах для представления логических единиц и нулей используется только значение потенциала сигнала, а его перепады, формирующие законченные импульсы, во внимание не принимаются. Импульсные коды позволяют представить двоичные данные либо импульсами определенной полярности, либо частью импульса (фронтом) – перепадом потенциала определенного направления.

**Требования к методам кодирования.** При выборе способа кодирования нужно одновременно стремиться к достижению нескольких целей:

- минимизировать ширину спектра сигнала, полученного в результате кодирования;
- обеспечивать синхронизацию между передатчиком и приемником;
- обеспечивать устойчивость к шумам;
- обнаруживать и по возможности исправлять битовые ошибки;
- минимизировать мощность передатчика.

Более узкий спектр сигнала позволяет на одной и той же линии (с данной полосой пропускания) добиваться более высокой скорости передачи данных. Кроме того, часто к спектру сигнала предъявляются требования отсутствия постоянной составляющей, то есть наличия постоянного тока между передатчиком и приемником. В частности, применение различных трансформаторных схем гальванической развязки

препятствует прохождению постоянного тока.

Синхронизация передатчика и приемника нужна для того, чтобы приемник точно знал, в какой момент времени необходимо считывать новую порцию информации с линии связи. При передаче дискретной информации время всегда разбивается на такты равной длительности, и приемник старается считать новый сигнал в середине каждого такта, то есть синхронизировать свои действия с передатчиком.

На небольших расстояниях (например, между блоками внутри компьютера) в принципе удобна схема, основанная на отдельной (дополнительной) тактирующей линии связи. В сетях же ее использование вызывает трудности из-за неоднородности характеристик проводников в кабелях. На больших расстояниях неравномерность скорости распространения сигнала может привести к тому, что тактовый импульс придет настолько позже или раньше соответствующего сигнала данных, что бит данных будет пропущен или считан повторно. Кроме того, эта схема ведет к увеличению числа проводников в дорогостоящем кабеле.

Поэтому в сетях применяются самосинхронизирующиеся коды, сигналы которых несут для передатчика указания о том, в какой момент времени нужно распознавать очередной бит (или несколько битов, если код ориентирован более чем на два состояния сигнала). Любой резкий перепад сигнала (**фронт**) может служить хорошим указанием для синхронизации приемника с передатчиком.

При использовании синусоид в качестве несущего сигнала результирующий код обладает свойством синхронизации, так как изменение амплитуды несущей частоты дает возможность приемнику определить момент появления входного кода.

Распознавание и коррекцию искаженных данных сложно осуществить средствами физического уровня, поэтому это делают протоколы уровней 2-4 или 7 модели OSI. С другой стороны, распознавание ошибок на физическом уровне экономит время, так как приемник не ждет полного помещения кадра в буфер, а отбраковывает его сразу при распознавании ошибочных битов внутри кадра.

Требования к методам кодирования взаимно противоречивы, поэтому каждый из рассматриваемых ниже популярных методов физического кодирования обладает своими преимуществами и

недостатками по сравнению с другими. Варианты кодирования различными методами приведены на рис.2.5. Здесь сверху показаны исходные двоичные данные [1, 5].

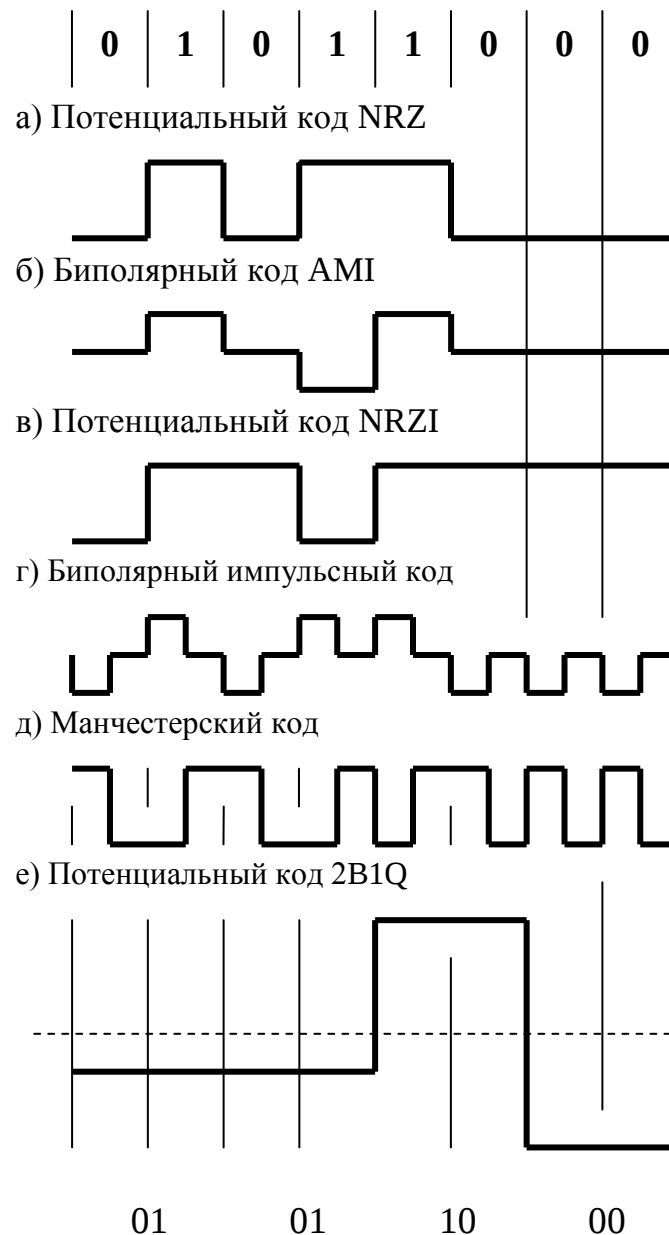


Рис.2.5. Варианты кодирования различными методами

**Потенциальный код без возвращения к нулю (Non Return to Zero, NRZ).** Здесь логический нуль представляет высокий потенциал, логическую единицу – низкий. Сигнал не возвращается к нулю в течение такта (рис.2.5, а). Метод NRZ прост в реализации, обладает хорошей распознаваемостью ошибок из-за двух резко различающихся потенциалов, но не обладает свойством самосинхронизации.

Даже при наличии высокоточного тактового генератора приемник может ошибиться с выбором момента съема данных, так как частоты двух генераторов никогда не бывают полностью идентичными. Поэтому при высоких скоростях обмена данными и длинных последовательностях единиц и нулей даже небольшое рассогласование тактовых частот может привести к ошибке в целый такт и, соответственно считыванию некорректного значения бита. Другой недостаток – наличие постоянной составляющей при передаче длинных последовательностей единиц и нулей. Поэтому в сетях код NRZ обычно используется в виде различных его модификаций, устраняющих отмеченные недостатки.

**Биполярное кодирование с альтернативной инверсией** (Bipolar Alternate Mark Inversion, AMI). Это одна из модификаций кода NRZ, где используются 3 уровня потенциала – отрицательный, нулевой и положительный. Для кодирования логического нуля используется нулевой потенциал, а для кодирования очередной логической единицы поочередно используется то положительный, то отрицательный потенциал (рис.2.5, б). Код AMI частично решает проблемы постоянной составляющей и отсутствия самосинхронизации при передаче длинных последовательностей единиц (последовательностями разнополярных потенциалов). А длинные последовательности нулей по-прежнему опасны – сигнал вырождается в постоянный потенциал нулевой амплитуды.

Использование кода AMI приводит к более узкому спектру сигнала, чем NRZ, а значит, и к более высокой пропускной способности линии. Код AMI способствует распознаванию ошибочных сигналов (нарушение строгого чередования полярности логической единицы). Код AMI имеет три состояния, что требует увеличения мощности передатчика для обеспечения той же достоверности распознавания (по сравнению с двумя состояниями).

**Потенциальный код с инверсией при единице** (NRZ with ones Inverted, NRZI). Он идейно похож на AMI, но имеет два уровня (рис.2.5, в). При передаче нуля он передает потенциал, который был установлен в предыдущем такте (не меняет его), а при передаче единицы потенциал инвертируется на противоположный. Удобно, когда использовать третий уровень сигнала весьма нежелательно. Например, в оптических кабелях устойчиво распознаются только два состояния сигнала – свет и темнота.

**Биполярный импульсный код.** В импульсных кодах данные представлены полным импульсом или его частью (перепадом, фронтом). Данный код наиболее прост, в нем единица представлена импульсом одной полярности, нуль – другой (рис.2.5, г). Каждый импульс длится половину такта. Данный код обладает самосинхронизацией, но в нем может присутствовать постоянная составляющая, если передается длинная последовательность нулей или единиц. Кроме того, его спектр шире, чем у потенциальных кодов. Поэтому используется он редко.

**Манчестерский код** в локальных сетях до недавнего времени был самым распространенным методом кодирования. Он применяется в технологиях Ethernet и Token Ring. В нем для кодирования единиц и нулей используется перепад потенциала, то есть фронт импульса (рис.2.5, д). Каждый такт делится на две части. Информация кодируется перепадами потенциала, происходящими в середине каждого такта: единица – от низкого к высокому потенциалу, нуль – обратным. В начале каждого такта может происходить служебный перепад сигнала, если нужно представить несколько единиц или нулей подряд. Так как сигнал изменяется, по крайней мере, один раз за такт передачи одного бита, то манчестерский код обладает хорошими самосинхронизирующими свойствами. Полоса пропускания его уже, чем у биполярного импульсного. У него два состояния, нет постоянной составляющей, а основная гармоника в худшем случае (последовательность  $N$  единиц или нулей) имеет частоту  $N$  Гц, а в лучшем случае (их чередование) –  $N/2$  Гц, как и у кодов AMI и NRZ. В среднем у него ширина полосы пропускания в 1,5 раза уже, чем у биполярного импульсного, а основная гармоника близка  $3N/4$ .

**Потенциальный код 2B1Q.** Имеет 4 уровня сигнала (рис.2.5, е). Его суть в том, что каждые два бита (2B) передаются за один такт (1) сигналом, имеющим 4 состояния (Q – Quadra, четыре). Паре битов 00 соответствует потенциал  $-2,5$  В, паре 01 – потенциал  $-0,833$  В, паре 10 – потенциал  $+2,5$  В, паре 11 – потенциал  $+0,833$  В. Но здесь требуются дополнительные меры по борьбе с длинными последовательностями одинаковых пар битов, образующими постоянную составляющую. При случайном чередовании битов спектр сигнала в два раза уже, чем у кода NRZ, так как при той же битовой скорости длительность такта увеличивается в два раза. Значит можно передавать данные в два раза быстрее. Но мощность передатчика должна быть увеличена для надеж-

ного распознавания приемником уже 4 уровней на фоне помех [1, 5].

#### 2.2.4. Предварительное логическое кодирование

Предварительное логическое кодирование используется для улучшения потенциальных кодов типа AMI, NRZI и 2B1Q. Оно должно заменять длинные последовательности нулевых битов, приводящие к постоянному потенциалу, вкраплениями единиц. Для этих целей применяются два метода – избыточные коды и скремблирование.

**Избыточные коды** основаны на разбиении исходной последовательности битов на порции, которые часто называют символами. Затем каждый исходный символ заменяется новым символом с большим числом битов, чем исходный. Например, логический код 4B/5B, который используется в технологиях FDDI и Fast Ethernet, заменяет исходные символы длиной 4 бита на символы длиной 5 битов. Так как результирующие символы содержат избыточные биты, то общее число битовых комбинаций в них больше, чем в исходных. Так, в коде 4B/5B результирующие символы могут содержать их  $2^5 = 32$ , в то время как исходные – только  $2^4 = 16$ . Поэтому в результирующем коде можно отобрать ровно 16 таких комбинаций, которые не содержат большого числа нулей подряд, а остальные 16 считать запрещенными кодами. Кроме устранения постоянной составляющей и придания коду свойства самосинхронизации, избыточные коды позволяют приемнику распознавать искаженные биты. Если принят запрещенный код, то на линии произошло искажение сигнала. Соответствие исходных и результирующих символов кода 4B/5B приведено в табл.3 [1].

Затем код 4B/5B передается по линии с помощью физического кодирования по одному из потенциальных методов, чувствительному только к длинным последовательностям нулей. А в любом сочетании символов кода 4B/5B не могут встретиться более трех нулей подряд, в том числе внутри и на границах символов (конец предыдущего + начало последующего). Буква В в названии кода означает binary – двоичный (элементарный сигнал имеет два состояния). Имеются коды с тремя состояниями сигнала. Например, в коде 8B/6T для кодирования 8-битных символов используются символы из 6 сигналов, каждый из которых имеет три состояния. Избыточность кода 8B/6T выше, чем кода 4B/5B, так на  $2^8$

= 256 исходных символов приходится  $3^6 = 729$  результирующих.

Таблица 3

| (начало)        |                       | (окончание)     |                       |
|-----------------|-----------------------|-----------------|-----------------------|
| Исходный символ | Результирующий символ | Исходный символ | Результирующий символ |
| 0000            | 11110                 | 1000            | 10010                 |
| 0001            | 01001                 | 1001            | 10011                 |
| 0010            | 10100                 | 1010            | 10110                 |
| 0011            | 10101                 | 1011            | 10111                 |
| 0100            | 01010                 | 1100            | 11010                 |
| 0101            | 01011                 | 1101            | 11011                 |
| 0110            | 01110                 | 1110            | 11100                 |
| 0111            | 01111                 | 1111            | 11101                 |

Использование таблицы перекодировки является очень простой операцией, поэтому данный подход не усложняет сетевые адаптеры и интерфейсные блоки коммутаторов и маршрутизаторов.

Для обеспечения заданной пропускной способности линии передатчик избыточного кода должен работать с повышенной тактовой частотой. Так, для передачи символов кода 4В/5В со скоростью 100 Мбит/с передатчик должен работать с тактовой частотой 125 МГц. При этом спектр сигнала на линии расширяется по сравнению со случаем, когда по линии передается чистый, не избыточный код. Тем не менее, спектр избыточного потенциального кода оказывается уже спектра манчестерского кода, что оправдывает дополнительный этап логического кодирования, а также работу приемника и передатчика на повышенной тактовой частоте.

**Скремблирование.** Перемешивание данных скремблером перед передачей их в линию с помощью потенциального кода является вторым способом логического кодирования. Скремблирование заключается в побитном вычислении результирующего кода (В) на основании битов исходного кода (А) и полученных в предыдущих тактах битов результирующего кода (обычно двух или более специально выбранных опытным путем тактах). Например, скремблер может реализовывать следующее соотношение [1]:

$$B_i = A_i (+) B_{i-3} (+) B_{i-5},$$

где  $B_i$  – двоичная цифра результирующего кода, полученная на  $i$ -м такте работы скремблера,  $A_i$  – то же для исходного кода,  $B_{i-3}$  и  $B_{i-5}$  – двоичные цифры результирующего кода, полученные на 3 и 5 тактов ранее, (+) – операция исключающего ИЛИ (сложение по модулю 2).

Тогда для исходной последовательности 110110000001 (в ней подряд идут 6 нулей) скремблер даст следующие биты результирующего кода:

$$B_1 = A_1 = 1$$

$$B_2 = A_2 = 1$$

$$B_3 = A_3 = 0$$

$$B_4 = A_4 (+) B_1 = 1 (+) 1 = 0$$

$$B_5 = A_5 (+) B_2 = 1 (+) 1 = 0$$

$$B_6 = A_6 (+) B_3 (+) B_1 = 0 (+) 0 (+) 1 = 1$$

$$B_7 = A_7 (+) B_4 (+) B_2 = 0 (+) 0 (+) 1 = 1$$

$$B_8 = A_8 (+) B_5 (+) B_3 = 0 (+) 0 (+) 0 = 0$$

$$B_9 = A_9 (+) B_6 (+) B_4 = 0 (+) 1 (+) 0 = 1$$

$$B_{10} = A_{10} (+) B_7 (+) B_5 = 0 (+) 1 (+) 0 = 1$$

$$B_{11} = A_{11} (+) B_8 (+) B_6 = 0 (+) 0 (+) 1 = 1$$

$$B_{12} = A_{12} (+) B_9 (+) B_7 = 1 (+) 1 (+) 1 = 1$$

Таким образом, на выходе скремблера появится последовательность 110001101111, в которой уже не идут подряд 6 нулей, как в исходном коде.

После получения результирующей последовательности приемник передает ее дескремблеру, который восстанавливает исходную последовательность ( $C$ , совпадающую с  $A$ ) на основании обратного соотношения [1]:

$$C_i = B_i (+) B_{i-3} (+) B_{i-5} = \{A_i (+) B_{i-3} (+) B_{i-5}\} (+) B_{i-3} (+) B_{i-5} = A_i.$$

Различные алгоритмы скремблирования различаются числом слагаемых, дающих цифру результирующего кода, и сдвигом между слагаемыми. Так, в сетях ISDN при передаче данных от сети к абоненту используется преобразование со сдвигами в 5 и 23 позиции, а обратно – со сдвигами в 18 и 23 позиции.

Существуют и более простые методы борьбы с последовательностями нулей, тоже относящиеся к классу

скремблирования. Например, для улучшения биполярного кода АМІ используются два эвристических метода В8ZS и HDB3. Они основаны на искусственном искажении встречающейся в исходном коде нежелательной последовательности (В8ZS – из восьми; HDB3 – из четырех) нулей запрещенными символами перед отправкой с последующим восстановлением после приема [1, 5].

Улучшенные потенциальные коды обладают достаточно узкой полосой пропускания для любых передаваемых последовательностей единиц и нулей, а также более узким спектром, чем манчестерский код (даже при своей повышенной частоте). Этим объясняется преимущественное применение потенциальных избыточных и скремблированных кодов в современных технологиях, подобных FDDI, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, ISDN, вместо манчестерского и биполярного импульсного кодирования.

### 2.2.5. Асинхронная и синхронная передачи

При обмене данными на физическом уровне единицей информации является бит, поэтому средства физического уровня всегда поддерживают побитовую синхронизацию между приемником и передатчиком. Канальный уровень оперирует кадрами данных и обеспечивает синхронизацию на уровне кадров.

Обычно достаточно обеспечить синхронизацию на этих двух уровнях, но при плохом качестве линии связи (телефонные коммутируемые каналы) для удешевления аппаратуры и повышения надежности передачи данных вводят дополнительные средства синхронизации на уровне байтов.

Такой режим работы называется **асинхронным** или старт-стопным. Другой причиной использования такого режима является наличие устройств, генерирующих именно байты данных в случайные моменты времени. Так работает клавиатура дисплея или другого терминального устройства. В асинхронном режиме каждый байт данных сопровождается специальными сигналами «старт» и «стоп» для извещения приемника о приходе данных и для освобождения приемника до поступления следующего байта. Сигнал «старт» длится один такт, «стоп» – один, полтора или два такта. Асинхронным этот режим называется потому, что

каждый байт может быть несколько смещен во времени относительно побитовых тактов предыдущего байта. Такая асинхронность передачи байтов не влияет на корректность принимаемых данных, так как в начале каждого байта происходит дополнительная синхронизация за счет битов «старт». Более свободные временные допуски определяют низкую стоимость оборудования асинхронной системы.

При **синхронном** режиме передачи пользовательские данные собираются в кадр, который предваряется и завершается байтами синхронизации, содержащими заранее известный код, например, 01111110, оповещающий приемник о приходе кадра данных. При получении байта синхронизации приемник должен войти в байтовый синхронизм с передатчиком (правильно понимать начало очередного байта кадра). Иногда применяется несколько синхробайтов. В случае передачи длинных кадров у приемника могут появиться проблемы с синхронизацией битов, что требует использования самосинхронизирующихся кодов.

### 2.3. Методы передачи данных канального уровня

Канальный уровень обеспечивает передачу пакетов данных, поступающих от протоколов верхних уровней, узлу назначения, адрес которого также указывает протокол верхнего уровня. Протоколы канального уровня оформляют переданные им пакеты в кадры собственного формата, помещая указанный адрес назначения в одно из полей такого кадра, а также сопровождая кадр контрольной суммой. Протокол канального уровня имеет локальный смысл, он предназначен для доставки кадров данных, как правило, в пределах сетей с простой топологией связей и однотипной или близкой технологией, например, в односегментных сетях Ethernet или же в многосегментных сетях Ethernet и Token Ring иерархической топологии, но разделенных только мостами и коммутаторами. Во всех этих конфигурациях адрес назначения имеет локальный смысл для данной сети и не изменяется при прохождении кадра от узла–источника к узлу назначения. Возможность же передавать данные между локальными сетями разных технологий связана с тем, что в этих технологиях используются адреса одинакового формата, к тому же производители сетевых адаптеров обеспечивают уникальность адресов независимо от технологии.

Другой областью действия протоколов канального уровня являются связи «точка-точка» глобальных сетей, когда протокол канального уровня отвечает за доставку кадра непосредственному соседу (хотя и расположенному далеко). Адрес в этом случае не имеет принципиального значения. А на первый план выходит способность протокола восстанавливать искаженные и утерянные кадры, так как плохое качество территориальных каналов, особенно коммутируемых телефонных, часто требует выполнения подобных действий.

Если перечисленные выше условия не соблюдаются, например, связи между сегментами Ethernet образуют петли, либо объединяемые сети используют различные способы адресации, как это имеет место в сетях Ethernet и X.25, то протокол канального уровня не может сам справиться с задачей передачи кадра между узлами и требует помощи протокола сетевого уровня.

Наиболее существенные свойства метода передачи и протокола канального уровня проявляются в том, что он может быть:

- асинхронный / синхронный;
- символьно-ориентированный / бит-ориентированный;
- с предварительным установлением соединения / дейтаграммный;
- с обнаружением искаженных данных / без обнаружения;
- с обнаружением потерянных данных / без обнаружения;
- с восстановлением искаженных и потерянных данных / без восстановления;
- с поддержкой динамической компрессии данных / без поддержки.

Многие из этих свойств характерны не только для протоколов канального уровня, но и для протоколов более высоких уровней.

### **2.3.1. Асинхронные протоколы**

Эти протоколы оперируют не кадрами, а отдельными символами, представленными байтами со старт-стопными символами. Некоторые символы могут иметь управляющий характер (<CR> – возврат каретки), могут использоваться управляющие последовательности, начинающиеся в символа <ESC>. В асинхронных протоколах применяются стандартные наборы символов (ASCII, EBCDIC), включающие 27-32 специальных кодов (не нужных пользователям) для управления режимом обмена.

Но постепенно усложняясь, асинхронные протоколы стали оперировать и целыми кадрами. Например, популярный протокол XMODEM передает файлы между двумя компьютерами по асинхронному модему. Начало приема очередного блока файла инициируется символьной командой NAK. Передающая сторона, приняв NAK, отправляет очередной блок файла, состоящий из 128 байтов данных, заголовка и концевика. Заголовок состоит из специального символа SOH (Start Of Header) и номера блока. Концевик содержит контрольную сумму блока данных. Приемная сторона, получив новый блок, проверяет его номер и контрольную сумму. При совпадении этих параметров с ожидаемыми приемник отправляет символ ACK, иначе – NAK, после чего передатчик повторяет передачу данного блока. В конце передачи файла передается символ EOH [1].

Как видно из описания протокола XMODEM, часть управляющих операций выполняется в асинхронных протоколах посылкой в асинхронном режиме отдельных символов, в то же время часть данных пересылается блоками, что более характерно для синхронных протоколов.

### **2.3.2. Синхронные протоколы**

В синхронных протоколах между пересылаемыми символами (байтами) нет старт-стопных сигналов, поэтому отдельные символы пересылать нельзя. Все обмены данными осуществляются кадрами, имеющими заголовок, поле данных и концевик. Все биты кадра передаются непрерывным синхронным потоком, что значительно ускоряет передачу.

Так как байты не отделяются служебными сигналами, одной из первых задач приемника является определение границ байтов. Затем приемник должен найти начало и конец кадра, границы каждого поля (адреса назначения, адреса источника, других служебных полей заголовка, данных и контрольной суммы, если она имеется).

Большинство протоколов допускает использование в кадре поля данных переменной длины. Иногда и заголовок может иметь переменную длину. Поэтому обычно протоколы определяют максимальное значение длины поля данных – максимальную единицу передачи данных (Maximum Transfer Unit), а иногда и ее минимальное значение. Например, протокол

Ethernet требует, чтобы поле данных содержало не менее 46 байтов. Другие протоколы разрешают использовать поле данных нулевой длины, например, FDDI.

Существуют протоколы с кадрами фиксированной длины, например, в протоколе АТМ кадры фиксированного размера 53 байта, включая служебную информацию. Для них необходимо распознать только начало кадра.

Синхронные протоколы канального уровня бывают двух типов: символично-ориентированные (байт-ориентированные) и бит-ориентированные. Для обоих характерны одни и те же методы синхронизации битов, а главное различие заключается в методе синхронизации символов и кадров [1].

### 2.3.3. Виды передачи кадров

При передаче кадров данных на канальном уровне используются:

- дейтаграммные процедуры (без установления соединения), которые поддерживают только информационные кадры. Каждый кадр посылается в сеть без предупреждения, и за его утерю протокол не отвечает. Это увеличивает производительность, но затрудняет отслеживание факта доставки кадра узлу назначения. Этот метод не гарантирует доставку;
- процедуры с предварительным установлением логического соединения, поддерживающие информационные кадры, а также служебные кадры для установления и разрыва соединения.

Передача с установлением соединения более надежна, но требует больше времени для передачи данных и вычислительных затрат от конечных узлов на автоматические переговоры (autonegotiations). В этом случае узлу-получателю отправляется служебный кадр специального формата с предложением установить соединение (Шаг 1). При согласии узел-получатель посылает в ответ служебный кадр, подтверждающий установление соединения и предлагающий для данного логического соединения некоторые параметры (идентификатор соединения, максимальное значение поля данных кадров и т.п.) (Шаг 2). Узел-отправитель может завершить процесс установления соединения

отправкой третьего служебного кадра-подтверждения (Шаг 3). На этом логическое соединение считается установленным, и в его рамках можно передавать информационные кадры с пользовательскими данными. После передачи всех кадров (например, определенного файла) узел-отправитель инициирует разрыв данного логического соединения, посылая соответствующий служебный кадр.

Логическое соединение обеспечивает передачу данных как в одном, так и в обоих направлениях. Процедура установления соединения может преследовать следующие цели:

- взаимная аутентификация пользователей или оборудования (маршрутизаторы тоже могут иметь имена и пароли);
- согласование изменяемых параметров протокола;
- обнаружение и коррекция ошибок;
- динамическая настройка коммутаторов в сетях X.25, frame relay и АТМ.

#### **2.3.4. Компрессия данных**

Компрессия (сжатие) данных применяется для сокращения времени их передачи, но требует дополнительных затрат времени отправителя на компрессию, а получателя – на декомпрессию данных. Поэтому выгоды от этого бывают заметны только для низкоскоростных каналов до 64 Кбит/с. Многие программные и аппаратные средства сети способны выполнять динамическую компрессию данных в отличие от статической, когда данные предварительно сжимаются с помощью известных архиваторов (WinZip, WinRAR и т.п.), а уже затем отсылаются в сеть.

На практике может использоваться ряд специализированных алгоритмов компрессии, каждый из которых применим к определенному типу данных. Некоторые (интеллектуальные) модемы производят адаптивную компрессию, при которой в зависимости от типа передаваемых данных выбирается особый алгоритм компрессии.

Известны следующие общие идеи и алгоритмы компрессии.

**Десятичная упаковка числовых данных.** Если все данные кадра состоят только из десятичных цифр, значительную экономию можно получить путем уменьшения числа используемых на представление цифры битов с 7 (как в коде ASCII) до 4, производя простое двоичное

кодирование десятичных цифр. Например,  $9_{10}=1001$ . В заголовок полученного кадра уменьшенной длины необходимо поместить соответствующий управляющий символ.

**Относительное кодирование** (разности) является альтернативой десятичной упаковке, если отклонения между последовательными цифрами невелики, и разницу передавать выгоднее. Пример: ADPCM.

**Символьное подавление.** Часто передаваемые данные содержат большое число повторяющихся байтов. Передатчик сканирует последовательность байтов и, замечая одинаковые 3 и более байтов, заменяет их специальной трехбайтовой последовательностью вида (значение байта, число повторений, управляющий символ начала).

**Статистическое (или неравномерное) кодирование (использование кодов переменной длины)** основано на переменной частоте употребления символов в кадре. Идея статистического кодирования: наиболее часто встречающийся символ должен иметь самый короткий код. Но при этом из-за различной длины кодов должна применяться только бит-ориентированная передача. Коды выбираются так, чтобы при анализе последовательности битов можно было однозначно определить соответствие определенной порции битов любой длины тому или иному символу или же запрещенной комбинации битов. И если данная последовательность битов – запрещенная комбинация, то к ней надо присоединить еще один бит и повторить анализ. Например, пусть для наиболее часто встречающегося символа «Р» выбран код 1, тогда значение 0 однобитного кода будет запрещенным. Иначе мы вообще сможем закодировать только два символа. Далее для символа «О» используем код 01, оставляя 00 как запрещенный, «А» – 001, «П» – 0001 и т.п.

Неравномерное кодирование наиболее эффективно, когда неравномерность распределения частот передаваемых символов велика, как при передаче длинных текстовых строк. Напротив, при передаче двоичных данных (кодов программ) оно малоэффективно, поскольку 8-битные коды при этом распределены почти равномерно.

Одним из наиболее распространенных алгоритмов построения кодов переменной длины является алгоритм Хаффмана, позволяющий строить коды автоматически, на основании известных частот символов. Известны

его адаптивные модификации, позволяющие строить дерево кодов на ходу, по мере поступления данных от источника.

Многие модели модемов, мостов, коммутаторов и маршрутизаторов поддерживают протоколы динамической компрессии, позволяющие сократить объем передаваемой информации в 4 или 8 раз. В таких случаях говорят, что они обеспечивают коэффициент сжатия 1:4 или 1:8. Реальный коэффициент компрессии зависит от типа передаваемых данных: графические и текстовые данные обычно сжимаются хорошо, а коды программ – хуже [1, 5].

### 2.3.5. Обнаружение и коррекция ошибок

Канальный уровень должен обнаруживать ошибки, связанные с искажением битов и потерей кадров, и по возможности их корректировать. Большая часть протоколов канального уровня решает только первую задачу, считая, что корректировать ошибки (например, повторной передачей) должны протоколы верхних уровней. Так работают популярные протоколы ЛС Ethernet, Token Ring, FDDI и другие, где искажения и потери кадров происходят очень редко. Но существуют и протоколы канального уровня, например, LLC2 или LAP-B, которые самостоятельно решают задачу восстановления искаженных или утерянных кадров. Они ориентированы на сети с ненадежными каналами связи [1, 5].

**Методы обнаружения ошибок.** Все они основаны на передаче в составе кадра данных служебной избыточной информации для оценки достоверности принятых данных. Эта информация называется **контрольной суммой** или **контрольной последовательностью кадра** и вычисляется как некоторая функция от основной информации, причем полученная необязательно только путем суммирования. Принимающая сторона повторно вычисляет контрольную сумму кадра по известному алгоритму и в случае ее совпадения с переданной исходной считает, что данные были переданы через сеть корректно.

Известны разные по вычислительной сложности и способности обнаруживать ошибки в данных алгоритмы вычисления контрольной суммы:

- контроль по паритету – простейший алгоритм контроля, с его помощью можно обнаружить только одиночные ошибки в данных. Он

заключается в суммировании по модулю 2 всех битов кадра. Результат суммирования (1 бит) удобно пересылается, но двойные и другие четные ошибки, сохраняющие значение контрольной суммы, не обнаруживает. Применяется к каждому байту, дает коэффициент избыточности  $1/8$ , применяется редко;

- вертикальный и горизонтальный контроль по паритету. Отличается от предыдущего алгоритма тем, что исходные данные рассматриваются в виде матрицы, строки которой составляют передаваемые байты. Контрольный бит подсчитывается отдельно для каждой строки и каждого столбца матрицы. Алгоритм обнаруживает большую часть двойных ошибок, дает коэффициент избыточности  $1/4$ , применяется редко;
- циклический избыточный контроль – наиболее популярный алгоритм контроля в сетях и ВТ (диски, дискеты). Он основан на рассмотрении данных как одного многоразрядного числа. Например, кадр Ethernet, состоящий из 1024 байтов, рассматривается как число из 8192 битов. Контрольной информацией считается остаток от деления этого числа на известный делитель  $R$ . Обычно  $R$  специально подбирается как 17- или 33-разрядное двоичное число, чтобы остаток, занимающий в пределе – на один разряд меньше, имел удобную длину 16 или 32 разряда, то есть 2 или 4 байта. При получении кадра данных они суммируются с контрольной суммой и снова делятся на  $R$ . И если новый остаток равен нулю, данные были переданы верно. Алгоритм сложнее предыдущих, обнаруживает все одиночные и двойные ошибки, а также ошибки в нечетном числе битов. Он дает малый коэффициент избыточности, например, для Ethernet –  $4/1024 = 0,4\%$ .

**Методы коррекции ошибок.** Надежную передачу информации обеспечивают два основных подхода к коррекции ошибок:

- повторная передача утерянных или искаженных данных;
- использование самокорректирующихся кодов.

Методы повторной передачи кадров данных используются, если при приеме отдельные кадры теряются или содержат искаженную информацию. Чтобы убедиться в необходимости повторной передачи данных, отправитель нумерует отправляемые кадры и ждет от получателя возврата служебного кадра – положительной квитанции о корректности полученных данных. Время ожидания квитанции (тайм-аут) ограничено.

Отправляя каждый кадр, передатчик запускает таймер. Если по прошествии определенного времени квитанция не получена, кадр считается утерянным. В случае искажения данных получатель может вернуть отрицательную квитанцию как явное указание на повторную передачу.

Известны два подхода к организации процесса обмена квитанциями: с простоями источника и с организацией «скользящего окна».

Метод простоя источника требует, чтобы источник (отправитель), пославший кадр, ожидал получения квитанции (положительной или отрицательной) или истечения тайм-аута. И только положительная квитанция не требует повтора передачи данного кадра. Простои источника здесь являются вынужденными. Снижение производительности этого метода коррекции особенно заметно на низкоскоростных каналах связи в ГС.

Метод «скользящего окна» для повышения коэффициента использования линии разрешает отправителю передавать  $W$  кадров подряд, без ожидания положительных квитанций. Параметр  $W$  называется размером окна. При получении каждой положительной квитанции граница окна сдвигается вперед, разрешая передавать следующие кадры. Если очередная квитанция не получена, а все разрешенные кадры переданы, то процесс передачи приостанавливается, и по истечении некоторого тайм-аута данный «плохой» кадр передается снова. Метод более сложен в реализации, так как передатчик должен временно хранить в буфере все кадры, пока не покрыты положительными квитанциями. Кроме того, требуется отслеживать:  $W$ , номер последнего «хорошего» кадра, номер последнего кадра, который еще можно передать до получения следующей квитанции.

Модификации метода «скользящего окна». Получатель может возвращать общую положительную квитанцию только на последний «хороший» кадр. Могут использоваться и отрицательные групповые и избирательные квитанции. Групповая квитанция содержит номер кадра, начиная с которого требуется повторная передача всех уже переданных кадров. Избирательная отрицательная квитанция требует повторной передачи только данного кадра. В популярном протоколе управления передачей (Transmission Control Protocol, **TCP**) использован алгоритм с

переменным размером окна  $W$ . По сути, метод простоя источника является частным случаем метода скользящего окна, когда  $W=1$ .

Метод скользящего окна имеет два параметра, заметно влияющие на эффективность передачи, –  $W$  и величина тайм-аута ожидания квитанции. В надежных сетях, где кадры теряются и искажаются редко,  $W$  (как степень доверия) следует увеличивать, а в ненадежных – уменьшать. Величина тайм-аута зависит не от надежности сети, а от задержек передачи кадров сетью. Во многих сетях значения этих параметров выбираются адаптивно, в зависимости от текущего состояния сети.

Использование самокорректирующихся кодов, позволяющих не только обнаруживать, но и исправлять ошибки в принятом кадре, является еще более эффективным подходом, чем повторная передача кадров. Техника кодирования, позволяющая приемнику не только понять, что присланные данные содержат ошибки, но и исправить их, называется **прямой коррекцией ошибок**. Коды, обеспечивающие прямую коррекцию ошибок, требуют введения большей избыточности в передаваемые данные, чем коды, которые только обнаруживают ошибки.

В любом избыточном коде не все кодовые комбинации являются разрешенными. Например, рассмотренный контроль по паритету делает разрешенными лишь половину кодовых комбинаций, поскольку другая половина (с иным значением контрольной суммы) становится запрещенной.

Чтобы оценить число дополнительных битов, требуемых для исправления ошибок, нужно знать так называемое **расстояние Хемминга между разрешенными комбинациями кода** – минимальное число битовых разрядов, в которых отличается любая пара разрешенных кодов. Для схем контроля по паритету расстояние Хемминга равно 2.

Доказано, что если мы сконструировали избыточный код с расстоянием Хемминга, равным  $n$ , то такой код будет в состоянии распознавать  $(n-1)$ -кратные ошибки и исправлять  $(n-1)/2$ -кратные ошибки. Можно прояснить ситуацию, например, при  $n=3$ . Поскольку коды с контролем по паритету имеют расстояние Хемминга, равное 2, то они могут только обнаруживать однократные ошибки и не могут исправлять ошибки.

Коды Хемминга эффективно обнаруживают и исправляют

изолированные ошибки – отдельные искаженные биты, разделенные большим числом корректных битов. Однако при появлении длинной последовательности искаженных битов (пульсации ошибок) коды Хэмминга не работают [1].

## **2.4. Мультиплексирование и коммутация**

Методы кодирования и коррекции ошибок позволяют создать в некоторой среде (например, в медных проводах кабеля) линию связи. Однако для эффективного соединения пользователей этого недостаточно. Нужно еще образовать в этой линии отдельные каналы передачи данных, которые можно использовать для коммутации информационных потоков пользователей. Для создания пользовательского канала коммутаторы первичных сетей должны поддерживать какую-либо технику мультиплексирования и коммутации. Методы коммутации тесно связаны с используемым методом мультиплексирования, поэтому целесообразно изучать их совместно.

В настоящее время для мультиплексирования абонентских каналов используются три техники [1, 5]:

- частотное мультиплексирование (Frequency Division Multiplexing, **FDM**);
- волновое мультиплексирование (Wave[length] Division Multiplexing, **WDM**);
- временное мультиплексирование (Time Division Multiplexing, **TDM**).

Все эти методы используются при коммутации каналов, а TDM – еще и при коммутации пакетов.

### **2.4.1. Коммутация каналов на основе частотного и волнового мультиплексирования**

**Частотное мультиплексирование** каналов. Техника FDM была разработана для телефонных сетей, но применяется и для сетей других видов (например, кабельного телевидения). Основная идея этого метода состоит в выделении каждому соединению своего собственного диапазона частот в общей полосе пропускания линии связи. На основе этого диапазона и создается собственный канал.

Рассмотрим особенности этого вида мультиплексирования на примере телефонной сети. Как мы уже говорили, для качественной передачи голоса достаточно образовать между двумя абонентами канал ТЧ. В то же время полоса пропускания кабельных систем с промежуточными усилителями, соединяющих телефонные коммутаторы между собой, обычно составляет сотни КГц, а иногда и сотни МГц. Однако непосредственно передавать сигналы нескольких абонентских каналов по широкополосному каналу нельзя, так как все они работают в одном диапазоне частот и смешаются так, что разделить их уже не удастся.

Для разделения абонентских каналов применяется техника модуляции высокочастотного несущего синусоидального сигнала низкочастотным голосовым (речевым) сигналом (см. рис.2.3) [1]. В результате спектр модулированного сигнала переносится в другой диапазон, который симметрично располагается относительно несущей частоты и имеет ширину, приблизительно совпадающую с шириной модулирующего сигнала. Для разных абонентских каналов используются различные несущие частоты. И если сигналы каждого абонентского канала перенести в свой собственный диапазон частот, то в одном широкополосном канале можно одновременно передавать сигналы нескольких абонентских каналов (рис.2.6).

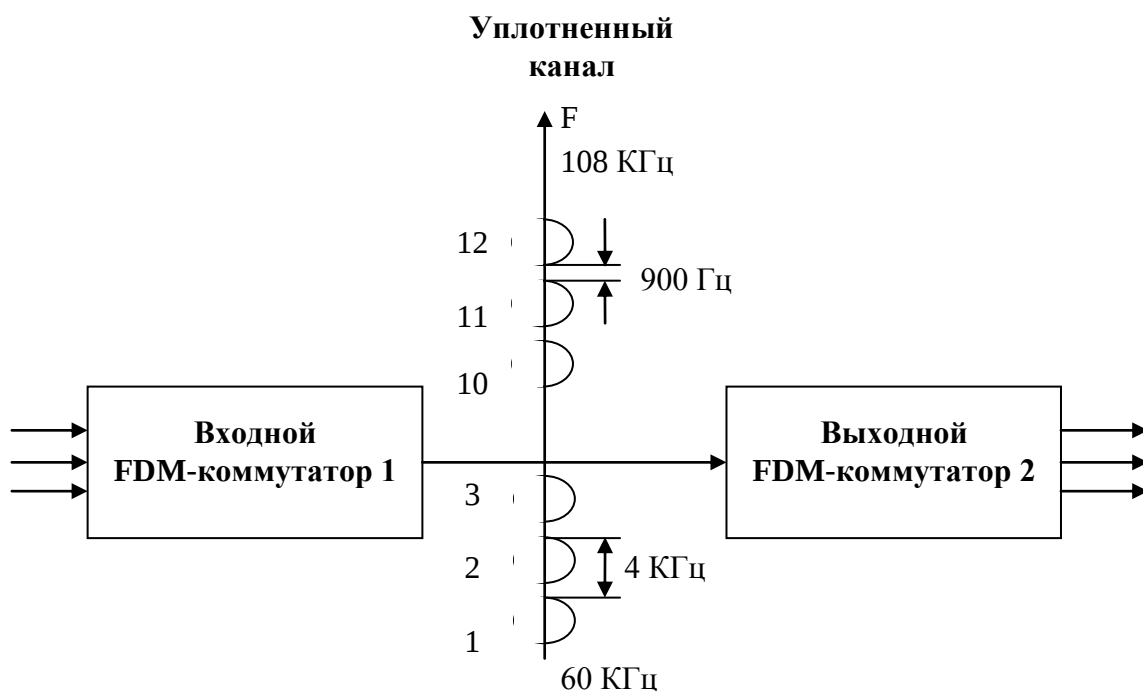


Рис.2.6. Коммутация на основе частотного уплотнения

На входной FDM-коммутатор 1 (рис.2.6) поступают исходные сигналы от абонентов телефонной сети. Он выполняет перенос частоты каждого канала в свой диапазон частот [1]. Обычно высокочастотный диапазон делится на полосы шириной 4 КГц вместо требуемых 3100 Гц, оставляя страховой промежуток в 900 Гц. Такой канал называют **уплотненным**. Выходной FDM-коммутатор 2 (рис.2.6) выделяет (фильтрует) модулированные сигналы каждой несущей частоты и передает их на соответствующий выходной канал, к которому подключен абонентский телефон.

В сетях на основе FDM-коммутации используется несколько уровней уплотнения каналов. Их характеристики сведены в табл.4 [1].

Таблица 4

| Уровень уплотнения                 | Ширина полосы | Диапазон частот | Число каналов ТЧ |
|------------------------------------|---------------|-----------------|------------------|
| 1. Базовая группа каналов          | 48 КГц        | 60-108 КГц      | 12               |
| 2. Супергруппа из 5 базовых групп  | 240 КГц       | 312-552 КГц     | 60               |
| 3. Главная группа из 10 супергрупп | 2520 КГц      | 564-3084 КГц    | 600              |

FDM-коммутаторы могут выполнять как динамическую, так и постоянную коммутацию. При динамической коммутации один абонент инициирует соединение с другим, посылая в сеть номер вызываемого абонента. Коммутатор динамически выделяет данному абоненту одну из свободных полос своего уплотненного канала. А при постоянной коммутации за абонентом полоса в 4 КГц закрепляется на длительный срок путем настройки коммутатора по отдельному входу, недоступному пользователям. Принцип коммутации на основе разделения частот остается неизменным и в сетях другого вида (не телефонных), меняются только границы полос абонентов и число низкоскоростных каналов в уплотненном высокоскоростном канале.

**Волновое мультиплексирование.** Техника WDM использует тот же принцип частотного разделения каналов, но только информационным сигналом в них является не электрический ток, а свет. Соответственно изменяется и частотный диапазон, в котором образуются пользовательские полупостоянные каналы – это уже инфракрасный

диапазон с длинами волн от 850 до 1565 нм, что соответствует частотам от 196 ТГц до 350 ТГц ( $1 \text{ ТГц} = 10^{12} \text{ Гц}$ ).

В магистральном канале обычно мультиплексируется несколько спектральных каналов – до 16, 32, 40, 80 или 160. Начиная с 16 каналов, такая техника мультиплексирования обычно называется **уплотненным волновым мультиплексированием** (Dense WDM, **DWDM**). Внутри такого спектрального канала данные могут кодироваться как дискретным способом, так и аналоговым. По сути, WDM и DWDM – это реализации рассмотренной ранее идеи частотного аналогового мультиплексирования, но в другой форме. Весомое различие сетей WDM/DWDM от сетей FDM состоит в предельных скоростях передачи информации. Сети FDM обычно обеспечивают на магистральных каналах одновременную передачу до 600 разговоров, что соответствует суммарной скорости всего 36 Мбит/с (для сравнения с цифровыми каналами скорость пересчитана из расчета 64 Кбит/с на один разговор). А сети DWDM обеспечивают общую пропускную способность до сотен Гбит/с и даже нескольких Тбит/с [1].

#### **2.4.2. Коммутация каналов на основе временного мультиплексирования**

FDM-коммутация разрабатывалась в расчете на передачу голосовых аналоговых сигналов. При переходе к цифровой форме представления голоса была разработана новая техника мультиплексирования, учитывающая дискретный характер передаваемых данных. Она называется временным мультиплексированием (TDM) или синхронным режимом передачи (Synchronous Transfer Mode). Принцип TDM заключается в выделении канала каждому соединению на определенный интервал времени (то есть в разделении канала во времени) и может быть пояснен с помощью рис.2.7 [1, 5]. Аппаратура TDM-сетей (мультиплексоры, коммутаторы, демультиплексоры) работает в режиме разделения времени, поочередно обслуживая в течение цикла своей работы все абонентские каналы. Цикл работы оборудования TDM равен 125 мкс – периоду следования замеров голоса в цифровом абонентском канале. Это означает, что мультиплексор или коммутатор успевает вовремя обслужить любой абонентский канал и передать его очередной замер далее по сети. Каждому соединению выделяется квант времени цикла работы аппаратуры – **тайм-слот**. Длительность тайм-слота зависит

от числа абонентских каналов, обслуживаемых мультиплексором TDM или коммутатором.

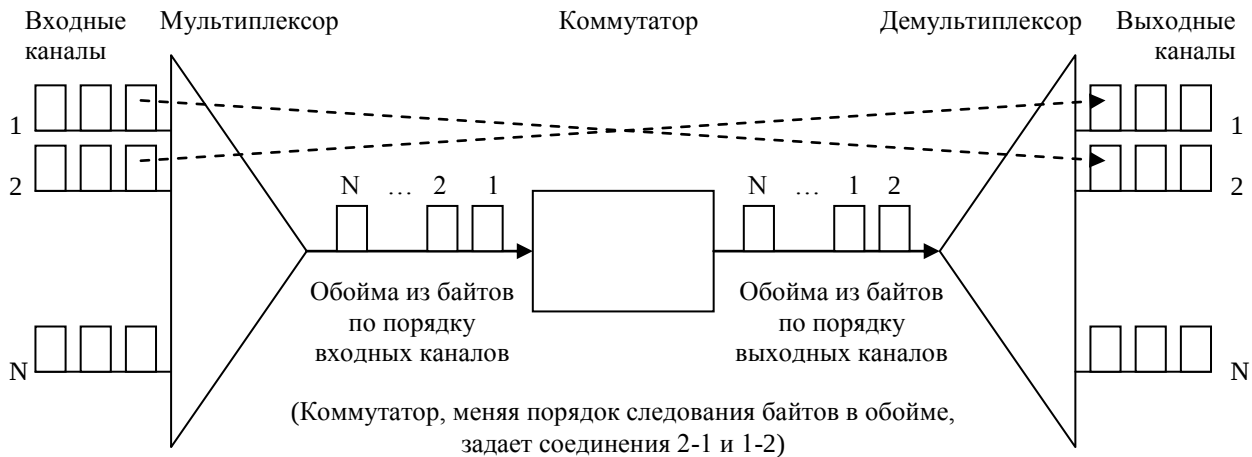


Рис.2.7. Коммутация на основе разделения канала во времени

Мультиплексор (рис.2.7) принимает информацию по  $N$  входным каналам от конечных абонентов, каждый из которых передает свои данные по абонентскому каналу со скоростью 64 Кбит/с – 1 байт каждые 125 мкс.

В каждом цикле мультиплексор выполняет следующие действия:

- прием от каждого канала очередного байта данных;
- составление из принятых байтов уплотненного кадра – **обоймы**;
- передача обоймы на выходной канал с битовой скоростью, равной  $N \times 64$  Кбит/с.

Здесь используется упрощенная адресация по позиции каждого байта, когда порядок следования байта в обойме соответствует номеру входного канала, от которого этот байт получен. Число обслуживаемых мультиплексором абонентских каналов зависит от его быстродействия. Например, первый промышленный TDM-мультиплексор T-1 поддерживает 24 входных абонентских канала, создавая (на выходе) обоймы стандарта T-1, передаваемые с битовой скоростью 1,544 Мбит/с.

Коммутатор (рис.2.7) принимает и переформирует обоймы, задавая новый порядок следования байтов в соответствии с порядком соединения выходных каналов. Например, для соединения каналов  $1 \rightarrow 2$  первый байт обоймы теперь должен стать вторым.

Демультиплексор (рис.2.7) выполняет обратную задачу – разбирает байты обойм и распределяет их по выходным каналам, считая порядковый

номер байта обоймы номером канала.

Однажды выделенный номер тайм-слота остается в распоряжении соединения «входной канал – выходной слот» в течение всего времени существования этого соединения, даже если передаваемый трафик является пульсирующим и не всегда требует захваченного числа тайм-слотов. Это означает, что соединение в сети TDM всегда имеет фиксированную пропускную способность, кратную 64 Кбит/с.

Работа оборудования TDM напоминает работу сетей с коммутацией пакетов, поскольку каждый байт данных можно считать некоторым элементарным пакетом. Но в отличие от сети с коммутацией пакетов здесь пакет сети TDM не имеет индивидуального адреса. Его адресом является порядковый номер в обойме или номер выделенного тайм-слота в мультиплексоре или коммутаторе. Сети TDM требуют синхронной работы всего оборудования, нарушение синхронности разрушает требуемую коммутацию абонентов, так как при этом теряется адресная информация. Поэтому перераспределение тайм-слотов между различными каналами в оборудовании TDM невозможно, даже если в каком-то цикле работы мультиплексора тайм-слот одного канала (или даже нескольких) оказывается избыточным (по сути – свободным), поскольку на соответствующем входе (или нескольких) нет данных для передачи (молчание в телефонной сети).

Существует модификация техники TDM, называемая **статистическим временным мультиплексированием** (Statistical TDM, **STDM**). Эта техника разработана специально для того, чтобы с помощью временно свободных тайм-слотов одного канала можно было увеличить пропускную способность остальных. Для решения этой задачи каждый байт данных дополняется полем адреса небольшой длины (4-5 бит), что позволяет мультиплексировать 16 или 32 канала. Фактически STDM представляет собой уже технику коммутации пакетов, но только с очень упрощенной адресацией и узкой областью применения. Развитием идей статистического мультиплексирования стала технология асинхронного режима передачи (Asynchronous Transfer Mode, **ATM**), вобравшая лучшие черты техники коммутации каналов и пакетов.

Сети TDM могут поддерживать режим динамической или постоянной коммутации, а иногда и оба этих режима.

Сегодня практически все данные (голос, изображение, компьютерные данные) передаются в цифровой форме. Поэтому выделенные каналы TDM-технологии, которые обеспечивают нижний уровень для передачи цифровых данных, являются универсальными каналами для построения сетей любого типа: телефонных, телевизионных и компьютерных [1, 5].

#### **2.4.3. Общие свойства FDM- и TDM-сетей, не зависящие от типа мультиплексирования**

Сети с динамической коммутацией требуют предварительной процедуры установления соединения между абонентами, когда запрос на установление соединения маршрутизируется от одного коммутатора к другому и, в конце концов, достигает вызываемого абонента. Но сеть может отказать в установлении соединения, если емкость выходного канала уже исчерпана. Например, FDM-коммутатор (рис.2.6) занят, если исчерпано число частотных полос, а TDM-коммутатор (рис.2.7) занят, если исчерпано число тайм-слотов. Сеть отказывает в соединении и в случае, когда вызываемый абонент занят сам – уже установил соединение с кем-нибудь другим. Возможность отказа в соединении является недостатком метода коммутации каналов.

Если соединение может быть установлено, ему выделяется фиксированная полоса частот в FDM-сетях или фиксированная пропускная способность в TDM-сетях, и менять их нельзя. Гарантированная пропускная способность после установления соединения очень важна для передачи голоса, изображения или поддержки режима РВ. Но в условиях пульсирующего компьютерного трафика это невыгодно, так как удобнее было бы ее варьировать по желанию абонента.

Недостатком сетей с коммутацией каналов является невозможность применения пользовательской аппаратуры, работающей с разной скоростью. Отдельные части составного канала работают с одинаковой скоростью, так как такие сети не буферизуют данные пользователей.

Сети с коммутацией каналов хорошо приспособлены для коммутации потоков данных постоянной скорости, когда единицей коммутации является не отдельный байт или пакет данных, а долговременный синхронный поток данных между двумя абонентами.

Для таких потоков сети с коммутацией каналов добавляют минимум служебной информации для маршрутизации данных через сеть, используя временную позицию каждого байта потока в качестве его адреса назначения в коммутаторах сети [1].

#### **2.4.4. Направления и режимы передачи**

В зависимости от направления выделяют следующие способы возможной передачи данных по линии связи:

- симплексный (simplex) – передача ведется в одном направлении;
- полудуплексный (half-duplex) – передача ведется попеременно в обоих направлениях. Пример: технология Ethernet;
- дуплексный (полнодуплексный, full-duplex) – передача ведется одновременно в двух направлениях.

Дуплексный режим – наиболее универсальный и производительный способ работы канала. Самым простым вариантом его организации является использование двух независимых каналов (двух пар проводников или двух световодов) в кабеле, каждый из которых работает в симплексном режиме. Примеры: Fast Ethernet, ATM.

Иногда такое простое решение оказывается недоступным или неэффективным. Чаще всего это происходит, когда для дуплексного обмена данными имеется всего один физический канал, а организация второго связана с большими затратами. Например, при обмене данными с помощью модемов через телефонную сеть у пользователя (дома) имеется только одна линия связи с районной автоматической телефонной станцией (АТС) в городе – двухпроводная. В таких случаях дуплексный режим работы организуется на основе разделения этой линии связи на два логических подканала с помощью техники FDM или TDM.

При использовании техники FDM для организации дуплексного режима диапазон частот делится на две части (по направлениям). Деление может быть симметричным и асимметричным. В последнем случае скорости передачи информации в каждом направлении различаются, примером чего является ADSL-технология доступа в Internet.

При цифровом кодировании дуплексный режим на двухпроводной линии организуется с помощью техники TDM. Одна часть тайм-слотов

используется для передачи данных в одном направлении, другая – в другом. Обычно тайм-слоты противоположных направлений чередуются, что называется «пинг-понговой» передачей. Пример: сети ISDN на абонентских двухпроводных окончаниях.

В волоконно-оптических кабелях с одним оптическим волокном для организации дуплексного режима работы применяется передача данных в одном направлении с помощью светового пучка одной длины волны, а в обратном – другой длины волны. Интересно, что именно решение этой частной задачи (создания двух независимых спектральных каналов в окне прозрачности оптического волокна) привело к созданию новой технологии WDM. Причем, сначала в каждом направлении использовалось по одному каналу, что обеспечивало только дуплексный режим работы. Потом стали применять по 2 или 4 канала, что называли WDM, а дальнейшее повышение числа каналов до 16, 32 и 40 – DWDM.

Появление мощных процессоров для обработки цифровых сигналов (Digital Signal Processor, **DSP**), которые могут выполнять сложные алгоритмы обработки сигналов в РВ, сделало возможным еще один вариант дуплексного режима. Два передатчика работают одновременно навстречу друг другу, создавая в канале суммарный аддитивный сигнал. Так как каждый передатчик знает спектр собственного сигнала, то он вычитает его из суммарного сигнала, получая (и принимая) в результате сигнал, посылаемый другим передатчиком [1]. Позже мы рассмотрим реализацию этой идеи в схеме гибридной развязки технологии Gigabit Ethernet.

## **2.5. Беспроводная передача информации**

### **2.5.1. Беспроводная среда передачи информации**

**Виды беспроводных телекоммуникаций и их преимущества.** Принципиальную возможность организации беспроводных телекоммуникаций сегодня могут обеспечить: мобильная связь, фиксированная беспроводная связь, мобильные компьютерные сети.

Физическая возможность мобильного приема и передачи информации без жесткой привязки абонентов проводами к определенной точке пространства давно привлекала разработчиков. Первый, по сути,

мобильный телефон изобрел в 1910 году Ларс Магнус **Эрикссон**. Он всего лишь использовал возможности быстрого механического подключения автомобилистов к проводной телефонной линии в разных ее точках (длинными штангами с контактами). Но только в конце 70-х годов 20 века развитие технологий радиодоступа обеспечило возможности производства сравнительно компактных и недорогих радиотелефонов. С этого времени начался бум мобильной телефонии, продолжающийся и сегодня.

Кроме мобильной существует и так называемая фиксированная беспроводная связь, когда взаимодействующие узлы постоянно располагаются в пределах небольшой территории (например, здания или сооружения), а прокладывать или использовать кабельные линии невозможно или невыгодно. Примерами являются: труднодоступные и малонаселенные местности, крайний Север и Антарктида; здания, имеющие историческую ценность и не допускающие прокладку кабеля; обслуживание в каком-то месте кратковременных разовых мероприятий; получение доступа к услугам абонентов, дома которых уже подключены к точкам присутствия существующих уполномоченных операторов связи.

Беспроводная связь уже достаточно давно используется для передачи данных, причем до недавнего времени большая часть ее применений в компьютерных сетях была связана именно с фиксированным вариантом (отдельный канал является спутниковым или наземным СВЧ-каналом).

Начиная с середины 90-х годов, достигла необходимого уровня и технология мобильных компьютерных сетей. Появление в 1997 году стандарта IEEE 802.11 обеспечило возможность построения мобильных сетей Ethernet, поддерживающих взаимодействие пользователей независимо от того, в какой стране они находятся и оборудованием какого производителя пользуются. Пока такие сети играют еще достаточно скромную роль по сравнению с мобильными телефонными сетями, но аналитики предсказывают их быстрый рост в ближайшие годы.

Беспроводные сети часто связывают с радиосигналами, что не всегда верно, поскольку беспроводная связь использует широкий диапазон частот электромагнитного спектра, от радиоволн низкой частоты в несколько КГц до видимого света частотой  $\sim 8 \times 10^{14}$  Гц [1, 14, 16].

**Беспроводная линия связи.** Она строится в соответствии с

достаточно простой схемой, где каждый узел оснащается приемно-передающей антенной. Электромагнитные волны распространяются в атмосфере со скоростью  $3 \times 10^8$  м/с во всех направлениях или в пределах определенного сектора.

По способу распространения волн различают антенны:

- параболические – направленные;
- изотропные – ненаправленные, представляют собой вертикальный проводник длиной в  $\frac{1}{4}$  длины волны излучения. Они широко используются в автомобилях и портативных устройствах.

Распространение излучения во всех направлениях можно обеспечить и несколькими направленными антеннами.

Поскольку при ненаправленном распространении электромагнитные волны заполняют все пространство определенного радиуса, определяемого затуханием мощности сигнала, то это пространство может служить общей разделяемой средой передачи. Разделение среды порождает те же проблемы, что и в ЛС, но здесь они усугубляются тем, что пространство в отличие от кабеля является общедоступным, а не принадлежит какой-то одной организации. Кроме того, беспроводная среда является ненаправленной.

Для передачи дискретной информации с помощью беспроводной линии связи необходимо модулировать электромагнитные колебания передатчика в соответствии с потоком передаваемых битов. Эту функцию выполняет уже рассмотренная в 2.1.2 (см. с.73-74) АПД – устройство, располагаемое между антенной и ООД (компьютером, коммутатором или маршрутизатором компьютерной сети) [1].

**Классификация беспроводных систем.** Беспроводные системы делятся на 4 группы в зависимости от используемого диапазона электромагнитного спектра по возрастанию частоты:

- широковещательные (радио-) системы. В диапазоне от 20 КГц до 300 МГц работают радиостанции, сюда попадают низкоскоростные системы АМ- и FM-диапазонов, предназначенные для передачи данных со скоростями от нескольких десятков до сотен Кбит/с. Примеры: радиомодемы, соединяющие два сегмента ЛС на скоростях 2400, 9600 или 19200 Кбит/с;

- микроволновые системы, представляющие наиболее широкий класс систем, объединяющий радиорелейные линии связи, спутниковые каналы, беспроводные ЛС и системы фиксированного беспроводного доступа или беспроводных абонентских окончаний (Wireless Local Loop, **WLL**);
- системы инфракрасных волн. Так как инфракрасное излучение не может проникать через стены, такие системы используются для образования небольших сегментов ЛС в пределах одного помещения;
- системы видимого света, обеспечивающие передачу информации с помощью лазеров. Они представляют высокоскоростную альтернативу микроволновым двухточечным каналам для организации доступа на небольших расстояниях.

### **Особенности распространения электромагнитных волн.**

Потребность в высокоскоростной передаче информации является главной, поэтому все современные системы беспроводной передачи работают в высокочастотных диапазонах, начиная с 800 МГц, несмотря на все преимущества низкочастотных диапазонов, в частности, передачи вдоль поверхности Земли (АМ-радио) на сотни километров (2 МГц) или передачи с отражением от ионосферы Земли на тысячи километров (2-30 МГц).

Для успешного использования микроволнового диапазона необходимо также учитывать дополнительные проблемы, связанные с поведением сигналов, распространяющихся в режиме прямой видимости и встречающих на своем пути препятствия. При встрече сигнала с препятствием может возникнуть его

- **отражение**, когда препятствие частично прозрачно для данной длины волны, а его размеры намного превышают длину волны. Часть энергии сигнала отражается от такого препятствия. Волны микроволнового диапазона имеют длину несколько сантиметров, поэтому в городе они частично отражаются от стен домов;
- **дифракция**, когда препятствие (например, металлическая пластина) непроницаемо, а его размеры также намного больше длины волны. При этом сигнал огibt препятствие так, что его можно принять, даже не находясь в зоне прямой видимости;
- **рассеивание**, когда размеры препятствия соизмеримы с длиной волны.

При этом сигнал распространяется дальше под различными углами.

В результате подобных явлений, повсеместно встречающихся в городе, приемник может получить несколько копий одного и того же сигнала, то есть имеет место многолучевое распространение сигнала. Его эффект может быть отрицательным, если одна из копий придет с обратной фазой и подавит основной сигнал.

Поскольку копии сигнала по разным путям идут разное время, может наблюдаться и межсимвольная интерференция – ситуация, когда из-за задержки сигналы соседних битов доходят до приемника одновременно.

Искажения из-за многолучевого распространения приводят к ослаблению сигнала, что называется многолучевым замиранием.

Все рассмотренные искажения сигнала складываются с внешними электромагнитными помехами, которых в городе довольно много. В частности, в диапазоне 2,4 ГГц работают микроволновые печи.

**Влияние помех.** Отказ от проводов и обретение мобильности приводят к высокому уровню помех в беспроводных линиях. Если интенсивность битовых ошибок в проводных линиях связи составляет  $10^{-9} - 10^{-10}$ , то в беспроводных она достигает  $10^{-3}$ . Для решения проблемы высокого уровня помех беспроводных каналов применяются различные способы:

- использование специальных методов кодирования, распределяющих энергию сигнала в широком диапазоне частот;
- размещение передатчиков сигнала (и по возможности приемников) на высоких башнях во избежание многократных отражений;
- применение протоколов с установлением соединений и повторными передачами кадров уже на канальном уровне стека протоколов. Это позволяет быстрее корректировать ошибки, поскольку они работают с меньшими значениями тайм-аутов, чем корректирующие протоколы транспортного уровня (например, TCP) [1, 14, 16].

## 2.5.2. Реализация беспроводных систем

**Двухточечная связь.** Типичная схема проводного двухточечного канала является популярной и для беспроводной связи. По двухточечной

схеме могут работать беспроводные каналы различного назначения, использующие различные диапазоны частот.

В телекоммуникационных первичных сетях такая схема уже долгое время используется для создания так называемых **радиорелейных линий связи**. Такую линию образуют несколько башен, на которых установлены параболические направленные антенны. Каждая такая линия работает в микроволновом диапазоне на частотах в несколько ГГц. Направленная антенна концентрирует энергию в узком пучке, что позволяет передавать информацию на значительные расстояния, обычно до 50 км. А высокие башни обеспечивают прямую видимость антенн.

Пропускная способность линии может быть достаточно высокой, в пределах от нескольких единиц до нескольких сотен Мбит/с. Такие линии могут быть как магистральными, так и линиями доступа (в последнем случае они имеют один канал). Операторы связи часто используют такие линии, когда прокладка оптоволокну невозможна или экономически невыгодна.

Радиорелейная линия связи может использоваться и в городе для соединения двух зданий. Поскольку высокая скорость в этом случае нужна не всегда (например, если нужно соединить небольшой сегмент ЛС с основной ЛС предприятия), то здесь могут применяться радиомодемы, работающие в АМ-диапазоне. Для связи двух зданий может использоваться и лазер, обеспечивающий при соответствующем состоянии атмосферы скорость до 155 Мбит/с.

Беспроводная связь может использоваться и для соединения двух компьютеров. Такая линия образует простейший сегмент ЛС, поэтому расстояния и мощности сигнала здесь принципиально иные.

В пределах одного помещения могут использоваться:

- диапазон инфракрасных волн. Большинство современных ноутбуков оснащено встроенным инфракрасным портом, поэтому такое соединение может быть образовано автоматически, как только порты двух компьютеров окажутся в пределах прямой видимости (или видимости отраженного луча);
- микроволновый диапазон. Этот вариант работает в пределах нескольких десятков или сотен метров. Предельное расстояние

предсказать невозможно, поскольку при распространении микроволнового сигнала в помещении происходят многочисленные отражения, дифракции и рассеивания, к которым добавляются эффекты проникновения волн через стены и межэтажные перекрытия.

**Связь одного источника и нескольких приемников.** Схема такого беспроводного канала характерна для организации доступа, когда многочисленные пользовательские терминалы соединяются с главной, так называемой **базовой станцией** (Base Station). Такие беспроводные линии используются как для фиксированного доступа, так и для мобильного.

Вариант фиксированного доступа с помощью микроволновой линии связи использует одну высокую башню, возможно, телевизионную, чтобы обеспечить прямую видимость антенн, установленных на крышах зданий клиентов. Фактически это может быть набор двухточечных линий связи зданий с базовой станцией. Но такое решение расточительно, поскольку требует на башне отдельную антенну для каждого здания. Поэтому для экономии обычно применяют антенны, захватывающие определенный сектор, например,  $45^\circ$ . Тогда за счет нескольких антенн можно обеспечить связь на все  $360^\circ$  на расстояние в несколько километров.

Пользователи линий доступа могут обмениваться информацией только с базовой станцией, которая транзитом может обеспечить взаимодействие между отдельными пользователями.

Базовая станция обычно соединяется проводной связью с проводной частью сети, обеспечивая взаимодействие с пользователями других базовых станций или пользователями проводных сетей. Именно поэтому базовая станция также называется **точкой доступа** (Access Point). Точка доступа включает не только оборудование АПД, необходимое для образования линии связи, но и чаще всего является коммутатором сети, доступ к которой она обеспечивает – телефонным коммутатором или коммутатором пакетов.

В большинстве схем мобильного доступа сегодня используется **принцип сот**, представляющих небольшие по площади участки территории, обслуживаемые одной базовой станцией. Первые мобильные телефоны работали тоже с одной базовой станцией, но покрывавшей большую территорию. Идеи небольших сот (ячеек радиусом 1-5 км с базовой приемно-передающей радиостанцией в центре) и отделения

радиосвязи в пределах одной ячейки от связи между ячейками впервые были сформулированы в 1947 году, но первые пробные участки появились только в конце 60-х, а широкое коммерческое применение сот началось в начале 80-х годов.

Чтобы обеспечить независимость каждой соты (и радиосвязи в ней) в пределах всей области охвата сети, предложена технология **многократного использования частот**. На рис.2.8 приведен пример организации сот с использованием всего лишь трех частот, условно обозначенных номерами 1-3, причем в соседних сотах используются разные частоты [1].

Многokратное использование частот позволяет сетевому оператору экономно расходовать выделенный ему частотный диапазон. В то же время абоненты и базовые станции соседних сот не испытывают проблем интерференции сигналов. Конечно, каждая базовая станция должна контролировать мощность своего излучаемого сигнала, чтобы не создавать помех несмежным сотам, работающим на той же частоте. При гексагональной форме сот число повторяемых частот может быть и больше, чем 3, например, 4, 7, 9, 12, 13 и т.д.

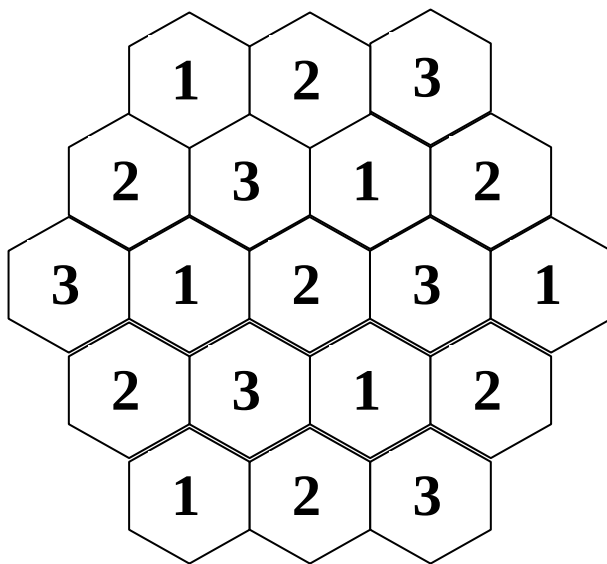


Рис.2.8. Схема многократного использования частот в сотовой сети

Размеры соты определялись максимальной дальностью связи радиотелефонного аппарата с базовой станцией, названной радиусом соты. При известном минимальном расстоянии D между центрами сот, работающих на одной частоте, а также радиусе соты R число сот N

определяется по формуле  $N = D^2 / 3R^2$  [1].

Во время разговора сотовый радиотелефон соединяется с базовой станцией радиоканалом. Абоненты связываются между собой через базовые станции, которые соединены друг с другом и городской телефонной сетью общего пользования.

Небольшие соты обеспечивают небольшие габариты и мощность терминального устройства пользователя. Именно это и технологический прогресс позволили мобильным телефонам стать такими компактными.

Мобильные компьютерные сети пока не получили такого распространения, как телефонные, но принципы организации беспроводных линий связи в них остаются теми же.

Важной проблемой мобильной линии связи является переход терминального устройства из одной соты в другую, чему соответствует процедура эстафетной передачи. Эстафетная передача не нужна при фиксированном доступе, она относится к протоколам более высоких уровней.

Для обеспечения бесперебойной связи при переходе абонента между сотами потребовалось применение компьютерного контроля его излучаемого телефонного сигнала, что позволяет в течение 0,001с переключать мобильный телефон с одного промежуточного передатчика на другой. Компьютеры системы мобильной связи отыскивают абонента в любой соте и подключают его к телефонной сети, а при его перемещении между сотами «передают» абонента с одной базовой станции на другую и подключают абонента «чужой» сотовой сети к «своей». Такая передача (так называемый **роуминг** – странствие) происходит, как только «чужой» абонент оказался в зоне действия новой базовой станции.

**Связь нескольких источников и нескольких приемников.** В этом случае беспроводная линия связи представляет собой общую электромагнитную среду, разделяемую несколькими узлами. Каждый узел может использовать эту среду для взаимодействия с любым другим узлом, обходясь без базовой станции, на основе децентрализованного алгоритма доступа к среде. Чаще всего такой вариант беспроводного канала используется для соединения компьютеров.

Для телефонного трафика неопределенность в доле пропускной

способности, получаемой при разделении среды, может резко ухудшить качество передачи голоса. Поэтому среда строится по ранее рассмотренной схеме с одним источником (базовой станцией на каждом компьютере) для распределения полосы пропускания и несколькими приемниками.

Сегодня такие сети передают данные со скоростью до 52 Мбит/с в микроволновом или инфракрасном диапазоне. Для связи каждого с каждым используются ненаправленные антенны. Чтобы инфракрасный свет распространялся в разных направлениях, применяются диффузные передатчики, которые рассеивают лучи с помощью системы линз [1].

### 2.5.3. Спутниковые системы

**Типы спутниковых систем.** Спутниковая связь используется для организации высокоскоростных микроволновых протяженных линий. Поскольку для них нужна прямая видимость, которую из-за кривизны Земли невозможно обеспечить на больших расстояниях, именно спутник как отражатель сигнала является единственным решением этой проблемы.

США в 1962 году запустили первый телекоммуникационный спутник Telstar-1, который поддерживал 600 голосовых каналов. Сегодня спутник может играть роль узла первичной сети, а также телефонного коммутатора и коммутатора/маршрутизатора компьютерной сети. Для этого аппаратура спутников может взаимодействовать не только с наземными станциями, но и между собой, образуя прямые космические беспроводные линии связи. Принципиально техника передачи микроволновых сигналов в космосе и на Земле одинакова, но у спутниковых линий связи есть очевидная специфика – один из узлов такой линии постоянно находится в полете, причем на большом расстоянии от других узлов.

Для спутниковой связи Международный союз телекоммуникаций (International Telecommunications Union, **ITU**) выделил несколько частотных диапазонов (табл.5). Исторически первым использовался диапазон С, где для каждого из дуплексных потоков Земля-спутник (восходящая частота) и спутник-Земля (нисходящая частота) выделяется по 500 МГц – достаточно для большого числа каналов. Диапазоны L и S предназначены для организации мобильных услуг с помощью спутников.

Они часто используются и наземными системами. Диапазоны Ku и Ka ввиду высокой стоимости оборудования пока используются мало [1].

Таблица 5

| Диапазон | Нисходящая частота, ГГц | Восходящая частота, ГГц |
|----------|-------------------------|-------------------------|
| L        | 1,5                     | 1,6                     |
| S        | 1,9                     | 2,2                     |
| C        | 3,7 – 4,2               | 5,925 – 6,425           |
| Ku       | 11,7 – 12,2             | 14,0 – 14,5             |
| Ka       | 17,7 – 21,7             | 27,5 – 30,5             |

Известно, что искусственные спутники Земли вращаются вокруг нее в соответствии с законами Кеплера. Орбита вращения спутника в общем случае является эллиптической, но для сохранения постоянной высоты над Землей спутники могут переходить на почти круговую орбиту. Сегодня используются три группы круговых орбит, различающихся высотой над Землей:

- **геостационарная** – 35863 км;
- **средневысотная** – 5000-15000 км;
- **маловысотная** – 100-1000 км.

**Геостационарный спутник** висит над определенной точкой экватора, в точности следуя направлению и скорости вращения Земли. Такое положение имеет следующие преимущества:

- $\frac{1}{4}$  поверхности Земли оказывается с такой высоты в зоне прямой видимости. Поэтому легко организовать широкое вещание и дальнюю связь для страны или континента;
- спутник неподвижен для наземных антенн, что значительно облегчает организацию связи. Не нужно автоматически корректировать направление наземной антенны, как раньше делали для низкоорбитальных и средневысотных спутников. С появлением в 1990 году небольших всенаправленных антенн ситуация изменилась – теперь уже не нужно следить за положением низкоорбитального спутника, достаточно, чтобы он находился в зоне прямой видимости;
- спутник находится за пределами земной атмосферы и меньше

«изнашивается». Низкоорбитальные спутники из-за трения о воздух постоянно теряют высоту, и им приходится восстанавливать ее с помощью двигателей.

Геостационарные спутники обычно поддерживают большое число каналов за счет наличия нескольких антенн. Раньше для работы с геостационарными спутниками на Земле требовались очень большие антенны – «тарелки» диаметром до 10 м. Это затрудняло использование геостационарных спутников для небольших организаций и отдельных пользователей. Ситуация изменилась с появлением на спутниках направленных антенн, создающих сигнал, который можно принимать с помощью сравнительно небольших наземных антенн – **миниатюрных апертурных терминалов** (Very Small Aperture Terminals, **VSAT**). Диаметр антенны VSAT составляет около 1 м. Наземные станции, оснащенные VSAT, предоставляют сегодня большой набор услуг (телефония, передача данных, конференции).

Недостатки геостационарных спутников:

- большие задержки распространения сигнала 230-280 мс из-за большого удаления от поверхности Земли (при передаче разговора или телевизионного диалога возникают неприятные паузы);
- ощутимые потери сигнала на таких расстояниях, что требует использования мощных передатчиков и тарелок больших размеров (это не относится к антеннам VSAT, но при их использовании уменьшается область охвата);
- плохая связь для районов, близких к Северному и Южному полюсам Земли. Сигналы для них проходят больший путь и больше ослабляются. Решением является спутник, имеющий эллиптическую орбиту, приближающийся к Земле как раз в районах упомянутых полюсов. Таковы отечественные спутники серии «Молния».

Геостационарные спутники не могут располагаться на орбите ближе 2° друг к другу. Из этого следует то, что на орбите может находиться не более 180 таких спутников.

На основе геостационарных спутников создаются системы доступа в Internet, например, Spaceway, Astrolink, Euro Skyway. Они ориентированы на использование антенн VSAT и обещают предоставлять пользователям каналы 2-10 Мбит/с [1].

**Средне- и низкоорбитальные спутники.** Среднеорбитальные спутники пока наименее популярны, обеспечивают диаметр покрытия 10000-15000 км и задержку распространения сигнала 50 мс. Они поддерживают различные **глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС)** [17-33], из которых сегодня функционируют пока только две:

- измерение дальности и времени по навигационному спутнику (Navigation Satellite Time and Ranging, **NAVSTAR**) глобальная система позиционирования (Global Positioning System, **GPS**) – часто именуемая просто GPS [19, 22-23];
- российская глобальная навигационная спутниковая система (**ГЛОНАСС**).

Они разворачивались почти одновременно (1993-1996 гг.), однако их навигационные «идеологии» сильно различаются [20-21].

ГНСС предназначены для определения текущих координат пользователя на поверхности Земли или в околоземном пространстве. ГНСС объединяет 2-3 десятка спутников, сеть наземных станций слежения за ними, а также неограниченное число пользовательских приемников-вычислителей. По радиосигналам спутников приемники пользователей должны устойчиво и точно (до десятков метров) определять координаты самолетов, кораблей, космических аппаратов, автомобилей и т.п. Основные ГНСС рассмотрены в [34].

Достоинства и недостатки **низкоорбитальных** спутников противоположны соответствующим качествам геостационарных спутников. Главное их достоинство – близость к Земле, следствием чего являются меньшие требуемые мощность передатчиков, размеры антенн, время распространения сигнала (20-25 мс). Кроме того, их легче запускать. Основной недостаток – малая площадь покрытия (диаметром около 8000 км). Период оборота вокруг Земли низкоорбитального спутника составляет 1,5-2 часа, а время видимости его наземной станцией – 20 минут. Это значит, что постоянная связь может быть обеспечена только при наличии на орбите достаточно большого числа низкоорбитальных спутников. А атмосферное трение снижает срок их службы до 8-10 лет.

Низкоорбитальные спутники рассматриваются как важное средство

поддержки мобильной связи. В начале 90-х годов 20 века компания Motorola с партнерами начала проект **Iridium** – создание всемирной спутниковой сети, обеспечивающей мобильную связь в любой точке земного шара. При отсутствии плотной системы сот мобильной телефонии такой проект казался весьма перспективным.

В 1997 году были запущены 66 спутников, а в 1998 году началась коммерческая эксплуатация системы Iridium. Спутники действительно покрывают поверхность земного шара, вращаясь по 6 орбитам, проходящим через полюсы Земли. На каждой орбите находится по 11 спутников, имеющих передатчики на частоте 1,6 ГГц с полосой пропускания 10 МГц. В этой полосе организованы 240 каналов шириной по 41 КГц каждый. За счет многократного использования частот система Iridium поддерживает всего 253440 каналов, организуя системы скользящих по поверхности Земли сот. Основная услуга – телефонная связь (7 долларов в минуту, скорость 2,4 Кбит/с).

Спутники Iridium могут передавать друг другу информацию со скоростью 25 Мбит/с. Поэтому телефонный вызов идет от спутникового телефона Iridium прямо на спутник, находящийся в зоне видимости. Затем этот спутник маршрутизирует вызов через систему промежуточных спутников к спутнику, ближайшему к вызываемому абоненту. Система Iridium представляет собой сеть с полным собственным стеком протоколов, обеспечивающим всемирный роуминг.

К сожалению, система Iridium, не выдержала конкуренции с растущей наземной сетью сотовой связи. Сегодня система Iridium Satellite используется в труднодоступных местах на скорости 10 Кбит/с [35].

Другая спутниковая сеть **Orbcomm** предоставляет сервис передачи данных не в режиме РВ. Если спутник невидим, терминал Orbcomm просто хранит пакеты, пока спутник не войдет в зону видимости. Это приводит к чрезвычайной неравномерности передачи данных, вместо долей секунды в Internet в этой сети паузы иногда длятся минутами.

Когда стало ясно, что мобильная телефония будет поддерживаться в основном наземными сотовыми сетями, ориентация многих спутниковых систем меняется, на первый план выходит предоставление скоростного доступа в Internet. В число таких систем входит спутниковая система Teledesic, одним из основателей которой является Билл Гейтс. В этой

системе, создаваемой с 90-х годов, спутники представляют собой полноценные маршрутизаторы, соединенные межспутниковыми (космическими) каналами 64 Кбит/с.

#### 2.5.4. Технология широкополосного сигнала

Техника расширенного спектра разработана специально для беспроводной передачи и позволяет улучшить помехоустойчивость кода для сигналов малой мощности, что очень важно для мобильных применений. Кроме нее применяются два вида дискретной модуляции:

- частотная манипуляция (Frequency Shift Keying, **FSK**);
- фазовая манипуляция (Phase Shift Keying, **PSK**) [1].

Широкая полоса пропускания позволяет также применять модуляцию с несколькими несущими, когда полоса делится на несколько подканалов, каждый со своей несущей. Соответственно, битовый поток делится на несколько подпотоков более низкой скорости. Затем каждый подпоток модулируется с помощью определенной несущей частоты, кратной основной несущей ( $f_0$ ,  $2f_0$ ,  $3f_0$  и т.д.). Модуляция выполняется с помощью обычных методов FSK или PSK. Такая техника называется **ортогональным частотным мультиплексированием** (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, **OFDM**) [1].

Перед передачей все несущие сворачиваются в общий сигнал с помощью быстрого преобразования Фурье. Спектр такого сигнала примерно равен спектру сигнала, кодируемого одной несущей. А после передачи из общего сигнала путем обратного преобразования Фурье выделяются несущие подканалы, затем из каждого выделяется битовый поток. Выигрыш от всего этого проявляется в том, что увеличивается интервал между отдельными символами кода. Это означает, что снижается эффект межсимвольной интерференции, появляющийся из-за многолучевого распространения электромагнитных волн.

Используются следующие два метода расширения спектра сигнала.

**Расширение спектра скачкообразной перестройкой частоты** (Frequency Hopping Spread Spectrum, **FHSS**). Его идея возникла еще в годы Второй мировой войны, когда радио широко использовалось для секретных переговоров и управления военными объектами (торпедами). Чтобы радиообмен нельзя было перехватить или подавить узкополосным

шумом, было предложено вести передачу с постоянной сменой несущей в пределах широкого диапазона частот. В результате мощность сигнала распределялась по всему диапазону, и прослушивание какой-то определенной частоты давало только небольшой шум. Последовательность несущих частот выбиралась псевдослучайной, известной только передатчику и приемнику. Например, на рис.2.9 последовательность перестройки частот:  $F_9-F_6-F_{10}-F_3-F_7-F_1-F_4-F_8-F_2-F_5$ .

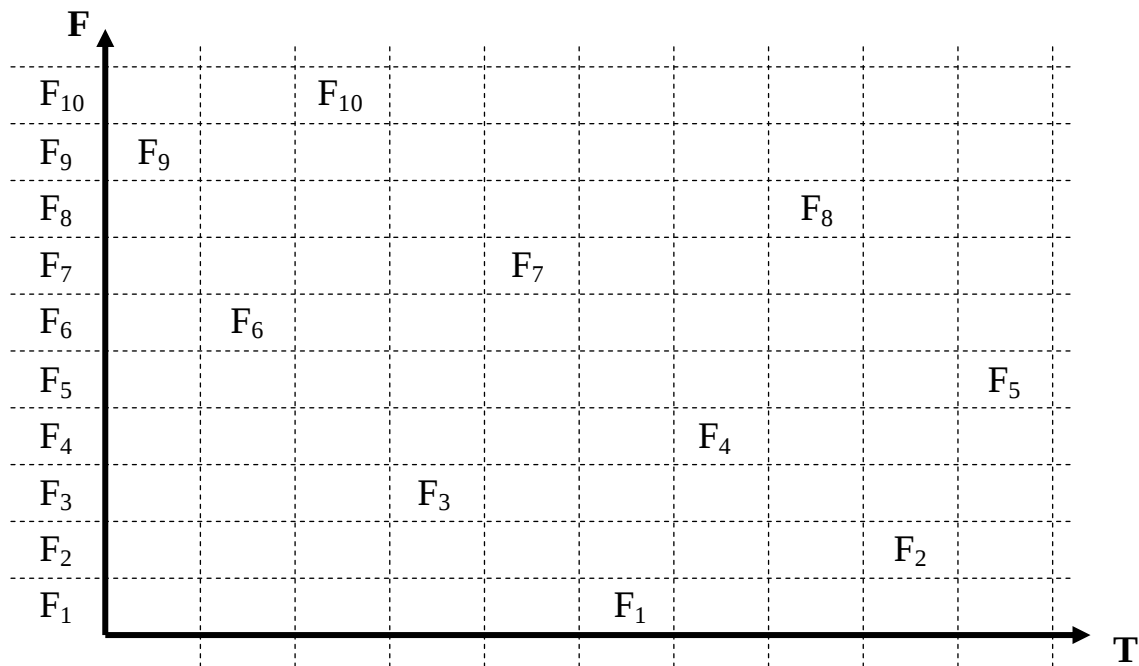


Рис.2.9. Скачкообразная перестройка частоты

Попытка подавления сигнала в каком-то узком диапазоне также не слишком ухудшала сигнал, так как подавлялась лишь небольшая часть информации [1].

В течение определенного фиксированного интервала времени передача ведется на неизменной несущей частоте.

На каждой несущей частоте для передачи дискретной информации применяются стандартные методы модуляции (например, FSK или PSK). Чтобы приемник синхронизировался с передатчиком, для обозначения начала каждого периода передачи в течение некоторого времени передаются синхробиты, уменьшая полезную скорость передачи.

Несущая частота меняется по номерам частотных подканалов, вырабатываемых алгоритмом генерации псевдослучайных чисел.

Псевдослучайная последовательность зависит от параметра, называемого **начальным числом**. Если передатчику и приемнику известны алгоритм и начальное число, они будут менять частоты в одинаковой последовательности псевдослучайной перестройки частоты.

Если частота смены подканалов ниже скорости передачи данных, то такой режим называется медленным расширением спектра, в противном случае – быстрым. Второй режим более устойчив к помехам, поскольку каждый бит повторяется в различных подканалах.

В методах кодирования FHSS вместо экономного расходования узкой полосы делается попытка занять весь доступный диапазон. На первый взгляд это кажется не эффективным – ведь в каждый момент времени работает только один подканал. Но методы FHSS позволяют организовать и мультиплексирование нескольких каналов в широком диапазоне путем выбора для каждого канала таких псевдослучайных последовательностей, чтобы в каждый момент времени каждый канал работал на своей неповторяющейся частоте.

**Прямое последовательное расширение спектра** (Direct Sequence Spread Spectrum, **DSSS**). В этом методе также используется весь частотный диапазон, выделенный для беспроводной линии связи. Но в отличие от метода FHSS, где весь частотный диапазон заполняется за счет постоянных переключений частоты, в методе DSSS каждый бит информации заменяется N битами так, что тактовая скорость увеличивается в N раз, а спектр сигнала также расширяется в N раз. Достаточно правильно выбрать скорость передачи и значение N, чтобы спектр сигнала заполнил весь диапазон [1].

Цель кодирования DSSS (как и FHSS) – повышение устойчивости к помехам. Узкополосная помеха будет искажать только определенные частоты спектра сигнала, поэтому приемник с большой долей вероятности сможет правильно распознать переданную информацию.

N-битный код, которым заменяется каждая двоичная единица исходной информации, называется **расширяющей последовательностью**, а каждый ее бит – **чипом**. Соответственно, скорость передачи результирующего кода (чипов) называют **чиповой скоростью**. Каждый двоичный ноль кодируется инверсным значением расширяющей последовательности. Для кодирования результирующего

кода может использоваться любой вид модуляции. Приемники должны знать вид расширяющей последовательности, использованной передатчиком, чтобы понять передаваемую информацию.

Число битов  $N$  расширяющей последовательности определяет **коэффициент расширения** исходного кода. Чем больше коэффициент расширения, тем шире спектр результирующего сигнала и тем больше степень подавления помех. Но при этом растет и занимаемый каналом диапазон спектра. Обычно коэффициент расширения составляет от 10 до 100. Примером является известная расширяющая последовательность Баркера, которая состоит из 11 битов: 10110111000. При ее использовании вместо передачи трех битов 110 потребуется передача следующих битов:

10110111000 10110111000 01001000111.

Последовательность Баркера позволяет приемнику быстро синхронизироваться с передатчиком, надежно выявляя начало этой последовательности. Приемник определяет такое событие, последовательно сравнивая получаемые биты с образцом последовательности. Действительно, если сравнить последовательность Баркера с такой же последовательностью, но сдвинутой на один бит влево или вправо (потерян или получен лишний бит), то мы получим меньше половины совпадений значений битов. Значит, даже при искажении нескольких битов (меньше половины) с большой долей вероятности приемник правильно определит начало последовательности Баркера (будет больше половины совпадений), после чего сможет правильно интерпретировать полученную информацию.

Метод DSSS в меньшей степени защищен от помех, чем метод быстрого расширения спектра, поскольку мощная узкополосная помеха влияет на часть спектра, а значит, и на результат распознавания единиц или нулей.

**Множественный доступ с кодовым разделением.** Как и FHSS-кодирование, кодирование методом DSSS позволяет мультиплексировать несколько каналов в одном диапазоне. Техника такого мультиплексирования называется множественным доступом с кодовым разделением (Code Division Multiple Access, **CDMA**). Она широко используется в сотовых сетях.

Техника CDMA может использоваться совместно с кодированием

методом FHSS, но на практике она чаще применяется в беспроводной сети с методом DSSS. Каждый узел сети, работающей по методу CDMA, посылает данные в разделяемую среду, когда ему это нужно, то есть синхронизация между узлами отсутствует. Идея CDMA заключается в том, что каждый узел сети использует свое значение расширяющей последовательности. Эти значения выбираются так, чтобы каждый принимающий узел, зная значение расширяющей последовательности своего отправителя, мог выделить (демультиплексировать) данные своего отправителя из суммарного сигнала, образующегося в результате одновременной передачи информации несколькими узлами [1].

## 2.6. Первичные сети

### 2.6.1. Особенности первичных сетей

**Первичные** или **опорные** сети предназначены для создания коммутируемой инфраструктуры, с помощью которой можно достаточно быстро и гибко организовать постоянный канал вида «точка-точка» между двумя пользовательскими устройствами, подключенными к такой сети.

В первичных сетях используется техника коммутации каналов. Поскольку каналы являются коммутируемыми и по истечении какого-то периода времени разрываются, их также называют **полупостоянными** (semipermanent).

На основе полупостоянных каналов, образованных в первичных сетях, работают **вторичные** сети – компьютерные или телефонные. Так как вторичные сети работают «поверх» инфраструктуры первичной сети, то их иногда называют наложенными (overlay). Каналы, представляемые первичными сетями своим пользователям, отличаются высокой пропускной способностью – обычно от 2 Мбит/с до 10 Гбит/с [1, 5].

Существуют три поколения технологий первичных сетей [1]:

- плезиохронная (почти синхронная) цифровая иерархия (Plesiochronic Digital Hierarchy, **PDH**);
- синхронная цифровая иерархия (Synchronous Digital Hierarchy, **SDH**), которой в Америке соответствует стандарт SONET;

- уплотненное волновое мультиплексирование (DWDM).

Технологии PDH и SDH для разделения высокоскоростного канала используют временное мультиплексирование (TDM) и передают данные в цифровой форме.

### 2.6.2. Сети PDH

Технология PDH была разработана в конце 60-х годов для решения проблем связи крупных коммутаторов телефонных сетей между собой. Линии связи FDM, применявшиеся ранее для решения этой задачи, исчерпали свои возможности по организации высокоскоростной многоканальной связи по одному кабелю. В технологии FDM для одновременной передачи данных 12 абонентских каналов использовалась витая пара, а для повышения скорости связи приходилось увеличивать число пар проводов или использовать более дорогие коаксиальные кабели. Кроме того, метод частотного уплотнения высокочувствителен к помехам разного рода, всегда присутствующим в территориальных кабелях. А высокочастотная несущая речи сама создает помехи в приемной аппаратуре, если плохо отфильтрована.

**Иерархия скоростей.** Начало технологии PDH было положено разработкой мультиплексора T-1, рассмотренного в 2.4.2 (см. с.119), который позволял в цифровом виде мультиплексировать, передавать и коммутировать (на постоянной основе) данные 24 абонентов, пользовавшихся обычными аналоговыми телефонными аппаратами. Мультиплексоры T-1 сами осуществляли оцифровку голоса с частотой 8000 Гц и кодировали его с помощью импульсно-кодовой модуляции (PCM). В результате каждый абонентский канал образовывал цифровой поток данных 64 Кбит/с, а мультиплексор T-1 обеспечивал передачу 1,544 Мбит/с.

Но для соединения магистральных АТС каналы T-1 были слишком слабыми и негибкими средствами мультиплексирования. Поэтому была реализована идея образования каналов с иерархией скоростей, с помощью которой как раз и строятся магистральные каналы и каналы доступа: 4 канала T-1 объединяются в канал следующего уровня цифровой иерархии T-2; 7 каналов T-2 дают канал T-3; 6 каналов T-3 дают канал T-4. Эта технология получила название **системы T-каналов**. Наряду с

американской версией стандарта (Т) распространен и международный (Европейский) стандарт (Е). Они имеют общее обозначение скорости – (Digital Signal, **DS**), но разные характеристики, сведенные в **табл.6**. Здесь отражены следующие обозначения скорости: DS-0 – абонентский канал 64 Кбит/с, DS-4 – определена, но Т-4 на практике не используется, DS-2 и каналы Т-2/Е-2 – в аренду сдаются редко. На практике в основном используются каналы Т-1/Е-1 и Т-3/Е-3 [1, 5].

Таблица 6

| Обозначение скорости | Америка |                         |                                  |                  | Европа |                         |                                  |                  |
|----------------------|---------|-------------------------|----------------------------------|------------------|--------|-------------------------|----------------------------------|------------------|
|                      | Канал   | Число голосовых каналов | Число каналов предыдущего уровня | Скорость, Мбит/с | Канал  | Число голосовых каналов | Число каналов предыдущего уровня | Скорость, Мбит/с |
| DS-0                 | –       | 1                       | 1                                | 0,064            | –      | 1                       | 1                                | 0,064            |
| DS-1                 | T-1     | 24                      | 24                               | 1,544            | E-1    | 30                      | 30                               | 2,048            |
| DS-2                 | T-2     | 96                      | 4                                | 6,312            | E-2    | 120                     | 4                                | 8,488            |
| DS-3                 | T-3     | 672                     | 7                                | 44,736           | E-3    | 480                     | 4                                | 34,368           |
| DS-4                 | T-4     | 4032                    | 6                                | 274,176          | E-4    | 1920                    | 4                                | <b>139,264</b>   |

Пользователь может арендовать один или несколько каналов по 64 Кбит/с (или 56 Кбит/с, если восьмой бит используется для служебных целей – техника «кражи» бита) в канале Т-1/Е-1. При нескольких каналах пользователю отводится несколько тайм-слотов работы мультиплексора.

**Физический уровень технологии PDH** поддерживает различные виды кабелей: витую пару, коаксиальный и волоконно-оптический кабель. Основным вариантом абонентского доступа к каналам Т-1/Е-1 является кабель из двух витых пар с разъемами RJ-48, которые требуются для организации дуплексного режима передачи данных со скоростью 1,544/2,048 Мбит/с. Для представления сигналов используются:

- в каналах Т-1 – биполярный потенциальный код В8ZS;
- в каналах Е-1 – биполярный потенциальный код HDB3.

Для усиления сигнала на линиях Т-1 через каждые 1800 м (1 миля) устанавливаются регенераторы и аппаратура контроля линии.

Коаксиальный кабель, благодаря своей широкой полосе пропускания

поддерживает канал Т-2/Е-2 или 4 канала Т-1/Е-1. Для работы каналов Т-3/Е-3 обычно используется либо коаксиальный кабель, либо волоконно-оптический кабель, либо каналы СВЧ.

**Ограничения и недостатки.** Технология PDH разрабатывалась как асинхронная, поэтому кадры различных скоростей разделяются специальными битами синхронизации. В этом причина основного недостатка каналов PDH – для получения доступа к данным одного низкоскоростного абонентского канала необходимо произвести полное демультиплексирование высокоскоростного канала, например, Е-3, а затем снова выполнить мультиплексирование 480 абонентских каналов в канал Е-3.

Кроме того, технология PDH не обеспечивает автоматической реакции первичной сети на отказ канала или порта, а также не имеет встроенных средств обеспечения отказоустойчивости и администрирования сети. Недостатком технологии PDH являются и низкие по современным понятиям скорости передачи данных. Волоконно-оптические кабели позволяют передавать данные со скоростями в несколько Гбит/с по одному волокну, что обеспечивает принципиальную возможность связать одним кабелем десятки тысяч пользовательских каналов. Но эту возможность технология PDH не реализует – ее иерархия заканчивается уровнем 139,264 Мбит/с [1].

### 2.6.3. Сети SDH

**Технология SONET/SDH.** Технология синхронной цифровой иерархии первоначально была разработана под названием «Синхронные оптические сети» (Synchronous Optical NETs, SONET). Основной целью разработчиков международного стандарта было создание такой технологии, которая позволяла бы передавать трафик всех существующих цифровых каналов (Т-1 – Т-3 / Е-1 – Е-4) в рамках высокоскоростной магистральной сети на волоконно-оптических кабелях и обеспечила бы **иерархию скоростей**, продолжающую иерархию PDH до скорости в несколько Гбит/с. В результате разработки появился международный стандарт SDH, а после всех доработок технология SONET/SDH фактически стала считаться единой. Она основана на полной синхронизации между каналами и всеми устройствами сети из

центрального пункта распределения синхроимпульсов для всей сети. Каналы иерархии PDH являются входными для сетей SONET/SDH, которые переносят ее по своим магистральным каналам.

Все уровни скоростей и форматы кадров для этих уровней названы следующим образом:

- в SDH – синхронный транспортный модуль уровня N (Synchronous Transport Module level N, **STM-N**);
- в SONET –
  - для электрических сигналов – синхронный транспортный сигнал уровня N (Synchronous Transport Signal level N, **STS-N**),
  - для световых сигналов – оптоволоконная линия связи уровня N (Optical Carrier level N, **OC-N**).

Уровни скорости для различных форматов кадров SDH и SONET, образующие иерархию скоростей, показаны в табл.7 (скорость возрастает сверху вниз) [1].

Таблица 7

| <b>SDH</b> | <b>SONET</b> | <b>Скорость</b> |
|------------|--------------|-----------------|
| –          | STS-1, OC-1  | 51,84 Мбит/с    |
| STM-1      | STS-3, OC-3  | 155,52 Мбит/с   |
| STM-3      | OC-9         | 466,56 Мбит/с   |
| STM-4      | OC-12        | 622,08 Мбит/с   |
| STM-6      | OC-18        | 933,12 Мбит/с   |
| STM-8      | OC-24        | 1,244 Гбит/с    |
| STM-12     | OC-36        | 1,866 Гбит/с    |
| STM-16     | OC-48        | 2,488 Гбит/с    |
| STM-64     | OC-192       | 9,953 Гбит/с    |
| STM-256    | OC-768       | 39,81 Гбит/с    |

Форматы кадров STS и OC идентичны. Все скорости кратны скорости STS-1. Скорость STM-1 (155,52 Мбит/с), с учетом больших

накладных расходов на служебные заголовки кадров SONET/SDH, согласуется со скоростью DS-4 (139,264 Мбит/с). Кадры данных SONET и SDH по форматам совпадают, но обладают весьма большой избыточностью, так как передают массу служебной информации. Далее рассмотрим подробно технологию SDH.

Кадры STM-N имеют достаточно сложную структуру, позволяющую агрегировать в общий магистральный поток потоки SDH и PDH различных скоростей, а также выполнять операции ввода-вывода без полного демультиплексирования магистрального потока.

Операции мультиплексирования и ввода-вывода выполняются с использованием виртуальных контейнеров (Virtual Container, VC) пяти типов, позволяющих переносить через сеть SDH блоки данных PDH: VC11 (1,5 Мбит/с) – T-1 (см. табл.5); VC12 (2 Мбит/с) – E-1; VC2 (6 Мбит/с) – T-2; VC3 (34/45 Мбит/с) – E-3/T-3; VC4 (140 Мбит/с) – E-4. Виртуальные контейнеры являются единицей коммутации мультиплексоров SDH. В каждом мультиплексоре существует своя таблица соединений портов контейнеров [1].

Сети SDH относятся к классу сетей с коммутацией каналов, использующих синхронное TDM-мультиплексирование, когда информация отдельных абонентов адресуется относительным временным положением внутри составного кадра (а не явным адресом, как в сетях с коммутацией пакетов). Каналы SDH обычно применяют для объединения большого числа периферийных и менее скоростных каналов PDH. Пример применения технологии SDH приведен на рис.2.10.

Здесь толстые линии – каналы SDH; тонкие линии – каналы PDH; М – маршрутизаторы пакетной сети; большие треугольники – мультиплексоры SDH; малые треугольники – мультиплексоры PDH [1].

В сетях SDH применяются различные топологии связей: линейная цепь мультиплексоров; кольцо; ячеистая и смешанная.

Основным элементом сети SDH является **мультиплексор** (рис.2.11).

Он обычно имеет по несколько портов PDH и SDH, например, портами PDH (2 Мбит/с, 34 Мбит/с) и портами SDH (155 Мбит/с – STM-1, 622 Мбит/с – STM-4) [1]. Порты мультиплексора SDH делятся на агрегатные (линейные) и трибутарные (ввода-вывода) (от слова tributary – приток).

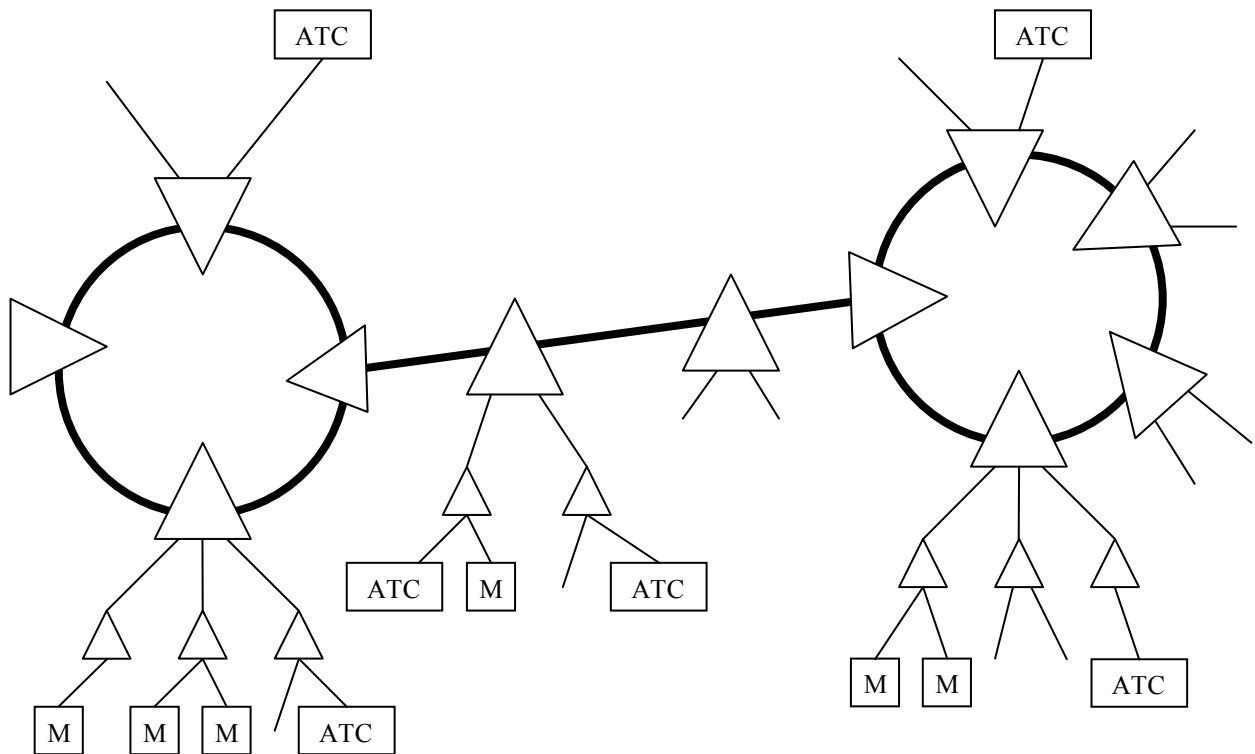


Рис. 2.10. Пример реализации сети SDH

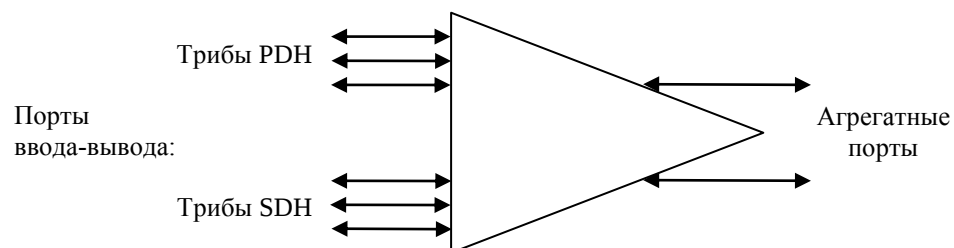


Рис. 2.11. Мультиплексор SDH

Выделяют мультиплексоры двух типов по положению в сети SDH (рис. 2.12) [1, 5]:

- **терминальные мультиплексоры (Terminal Multiplexers, ТМ)** – они завершают агрегатные каналы, мультиплексируя в них большое число трибутарных каналов (ввода-вывода), поэтому имеют один агрегатный порт и большое число трибутарных портов;
- **мультиплексоры ввода-вывода (Add-Drop Multiplexers, ADM)** – они занимают промежуточное положение на магистрали (в кольце, цепи или смешанной топологии), транзитом передавая агрегатный поток данных, имеют два агрегатных порта, а также небольшое число

трибутарных портов для ввода в агрегатный поток или вывода из агрегатного потока.

Иногда различают так называемые цифровые **кросс-коннекторы** (Digital Cross Connectors, DCC) или **маршрутизаторы волн** – мультиплексоры, которые выполняют операции коммутации произвольных виртуальных контейнеров. В таких мультиплексорах не делается различий между трибутарными и агрегатными портами, поскольку они предназначены для работы в ячеистой топологии, где невозможно выделить агрегатные потоки.

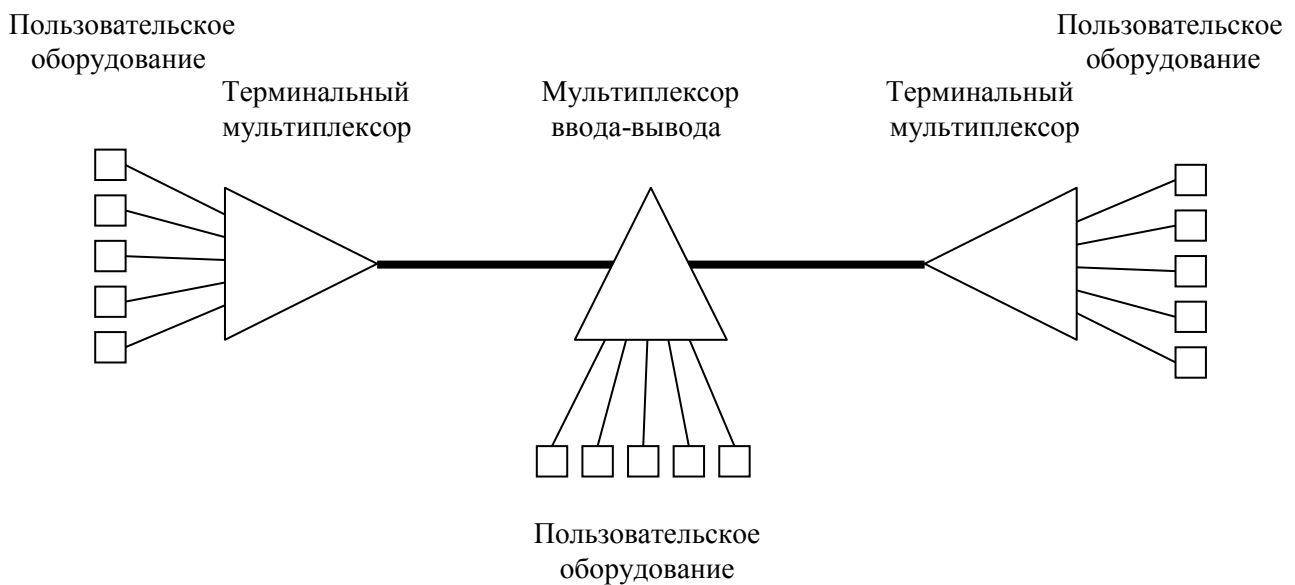


Рис. 2.12. Положение в сети SDH мультиплексоров различных типов

Агрегатные порты мультиплексора поддерживают максимальный для данной модели уровень скорости, например, STM-4 или STM-64.

Сети SONET/SDH обладают встроенной отказоустойчивостью за счет избыточности своих кадров и способности мультиплексоров выполнять реконфигурирование путей следования данных. Основной отказоустойчивой конфигурацией является конфигурация двойных волоконно-оптических колец, похожая на двойные кольца технологии FDDI (она будет рассматриваться во второй части учебного пособия).

Первичные сети SONET/SDH являются основой для большинства коммуникационных сетей: телефонных, компьютерных, телексных [1, 14].

## 2.6.4. Сети DWDM

Технология уплотненного волнового (спектрального) мультиплексирования (DWDM) предназначена для создания оптических магистралей нового поколения, работающих на мультимегабитных и терабитных скоростях. Такой качественный скачок производительности обеспечивает принципиально иной, нежели у SDH, метод мультиплексирования – информация в оптическом волокне передается одновременно большим числом световых волн. Сети DWDM работают по принципу коммутации каналов, где каждая световая волна представляет собой отдельный спектральный канал и несет собственную информацию. При этом оборудование DWDM не занимается непосредственно проблемами передачи данных на каждой волне, то есть способом их кодирования и протоколом передачи. Устройства DWDM занимаются только объединением различных волн в одном световом пучке (мультиплексированием), а также выделением из общего сигнала информации каждого спектрального канала (демультиплексированием). Наиболее развитые устройства DWDM могут также коммутировать волны [1, 5].

Сегодня оборудование DWDM позволяет передавать по одному оптическому волокну 32 и более волн разной длины в окне прозрачности 1550 нм, при этом каждая волна может переносить информацию со скоростью до 10 Гбит/с (при применении протоколов STM-64 или 10 Gigabit Ethernet (GE) (обозначается 10GE) для передачи на каждой волне). В настоящее время ведутся работы по повышению скорости передачи информации на одной волне до 40-80 Гбит/с.

А предшественницей технологии DWDM является технология WDM, использующая 4 спектральных канала в окнах прозрачности 1310 нм и 1550 нм, с разнесом несущих 400-800 ГГц.

Мультиплексирование в DWDM называется уплотненным из-за того, что в нем используется существенно меньшее расстояние между длинами волн, чем в WDM. Сегодня используются следующие частотные планы с разнесением частот между соседними каналами (шагом) [1]:

- 100 ГГц ( $\Delta\lambda \approx 0,8$  нм) – применяется 41 волна в диапазоне от 1528,77 нм (196,1 ТГц) до 1560,61 нм (192,1 ТГц);
- 50 ГГц ( $\Delta\lambda \approx 0,4$  нм) – применяется 81 волна;

- 25 ГГц (это экспериментальная технология High-Dense WDM (HDWDM)).

Реализация частотных планов с шагом 50 ГГц и 25 ГГц предъявляет гораздо более жесткие требования к оборудованию DWDM, особенно если каждая волна переносит сигналы со скоростью модуляции 10 Гбит/с и выше (STM-64, 10GE или STM-256).

А кодированием переносимой на каждой волне информации занимается более низкоуровневая технология, она пользуется предоставленной волной по своему усмотрению и может передавать как дискретную, так и аналоговую информацию.

Практический успех технологии DWDM, оборудование которой уже работает на магистралях многих ведущих мировых операторов связи (и некоторых российских), во многом связан с появлением **волоконно-оптических усилителей** на основе кварца, легированного эрбием. Протяженность участка между оптическими усилителями может достигать 150 км и более, число промежуточных оптических усилителей – до 7, длина мультиплексной секции – 600-3000 км. Возможны следующие типовые топологии:

- цепь «точка-точка». Для организации такой магистрали достаточно в ее конечных точках установить **терминальные мультиплексоры DWDM**, а в промежуточных точках – оптические усилители. Внешнюю среду образуют по несколько устройств SDH с каждого конца цепи. В состав терминального мультиплексора DWDM входят блок мультиплексирования/демультиплексирования, выходной и предварительный усилители, а также набор **транспондеров** для преобразования сигналов с несоответствующей частотному плану длиной волны в волны требуемой длины;
- цепь с промежуточными подключениями. Является естественным развитием предыдущей топологии. Здесь промежуточные узлы выполняют функции **мультиплексоров ввода-вывода**, к каждому из которых могут подсоединяться два устройства SDH (по числу направлений передачи). Мультиплексор ввода-вывода обеспечивает ввод волн в общий транзитный канал и вывод их оттуда;
- кольцо. Его образуют мультиплексоры ввода-вывода, к каждому из которых могут подсоединяться два устройства SDH (по числу

направлений передачи);

- ячеистая топология. Для ее реализации используются **оптические кросс-коннекторы** (маршрутизаторы волн), обеспечивающие произвольную коммутацию между оптическими сигналами, передаваемыми волнами разной длины.

Основные преимущества технологии DWDM [1]:

- независимость от протокола передачи данных – возможность передавать через магистраль DWDM трафик сетей любого типа;
- независимость спектральных каналов друг от друга;
- совместимость с технологией SDH – мультиплексоры DWDM оснащаются интерфейсами STM-N, способными принимать и передавать данные мультиплексоров SDH;
- совместимость с технологиями семейства Ethernet (GE и 10GE).

С успехами DWDM связано весьма перспективное технологическое направление – полностью оптические сети (All-Optical Networks), где все операции по мультиплексированию/демультиплексированию, вводу-выводу и кросс-коммутации (маршрутизации) пользовательской информации выполняются вообще без использования электрической формы сигнала. А все другие типы технологий, которые также используют световые сигналы для передачи информации по оптическим волокнам (SDH, GE), обязательно преобразуют световые сигналы в электрические и только потом могут их мультиплексировать и коммутировать [1, 5].

## 2.7. Контрольные вопросы

1. Опишите физическую среду передачи, ее разновидности, типы линий связи, кабелей, радиоканалов.
2. Опишите аппаратуру передачи данных и ее виды.
3. Перечислите причины искажений передаваемых сигналов в линии связи.
4. Что выражают АЧХ, спектр, гармоника, полоса пропускания, затухание, волновое сопротивление, помехоустойчивость?
5. Почему значимые гармоники должны попадать в полосу пропускания линии?
6. Опишите наиболее важные характеристики кабелей.

7. Назовите основные виды и разновидности кабелей и их особенности.
8. Что такое мода, какие бывают волоконно-оптические кабели?
9. Опишите структурированные кабельные системы зданий.
10. Опишите различные способы модуляции при передаче аналоговых и дискретных сигналов.
11. Опишите важность дискретизации аналоговых сигналов и особенности процесса импульсно-кодовой модуляции.
12. Как выбирается частота дискретизации при импульсно-кодовой модуляции?
13. Почему частота оцифровывания голоса выбирается равной 8000 Гц?
14. Опишите требования к методам кодирования.
15. Представьте 11010011 потенциальными кодами NRZ, AMI, NRZI.
16. Представьте 11010011 биполярным импульсным и манчестерским кодом.
17. Представьте 11010011 потенциальным кодом 2B1Q.
18. Сравните возможности различных потенциальных кодов.
19. Сравните возможности различных импульсных кодов.
20. Для чего используется и каким бывает логическое кодирование?
21. Для чего нужны избыточные коды, как используется код 4B/5B?
22. Опишите, как работает скремблер?
23. Поясните особенности и различия асинхронной и синхронной передачи
24. Поясните особенности и свойства методов передачи данных канального уровня.
25. Чем различаются асинхронные и синхронные протоколы?
26. Какие бывают виды передачи кадров?
27. Опишите общие идеи компрессии данных.
28. Опишите различные методы обнаружения ошибок передачи.
29. Опишите различные методы коррекции ошибок передачи.
30. Опишите метод коррекции ошибок передачи кадров «с простым источником» и его поведение на надежной/ненадежной линии.
31. Опишите метод коррекции ошибок передачи кадров на основе «скользящего окна» и его поведение на надежной/ненадежной линии.
32. Опишите коммутацию каналов на основе частотного мультиплексирования (FDM).
33. Опишите коммутацию каналов на основе волнового

мультиплексирования (WDM).

34. В чем суть частотного мультиплексирования, что такое «уплотненный канал»?
35. Почему ширина полосы FDM-коммутатора составляет 4 КГц?
36. Опишите коммутацию каналов на основе временного мультиплексирования (TDM).
37. В чем суть временного мультиплексирования, что такое «тайм-слот» и «обойма» в TDM-сети?
38. Почему цикл работы TDM-оборудования составляет 125 мкс?
39. Что делают мультиплексор, коммутатор, демультимплексор в TDM-сети?
40. Опишите общие свойства FDM- и TDM-сетей и состояния «коммутатор занят» и «отказ в соединении».
41. Когда использовать сети с коммутацией каналов хорошо и когда плохо?
42. Назовите направления и режимы передачи данных и особенности их реализации.
43. Опишите основные виды беспроводных телекоммуникаций и их преимущества.
44. Опишите состав беспроводной линии связи, дайте классификацию беспроводных систем.
45. Опишите особенности распространения электромагнитных волн и влияния помех.
46. Кратко опишите варианты реализации беспроводных систем.
47. Что такое радиорелейная линия, базовая станция, точка доступа?
48. Поясните принцип сот и идею многократного использования частот в сотовой сети.
49. Изобразите пример организации сот с использованием 4 частот.
50. Кратко опишите различные типы спутниковых систем.
51. Сравните достоинства и недостатки геостационарных, среднеорбитальных и низкоорбитальных спутников.
52. Опишите проекты спутниковой сети Iridium и Orbcomm.
53. Опишите расширение спектра сигнала скачкообразной перестройкой частоты (FHSS).
54. Опишите прямое последовательное расширение спектра сигнала (DSSS).

55. Опишите множественный доступ с кодовым разделением (CDMA).
56. Кратко опишите на уровне идей особенности и технологии первичных сетей.
57. Опишите технологию PDH.
58. Какую идею и технологию развивает технология PDH, каковы недостатки PDH?
59. Как связаны и согласуются технологии PDH и SONET/SDH?
60. Опишите технологию SONET/SDH.
61. Опишите аппаратуру мультиплексирования и коммутации для SDH-сети.
62. Опишите технологию DWDM.
63. Опишите типовые топологии DWDM-сетей.

## **СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ**

- 10GE – 10 Gigabit (гигабит) Ethernet;
- ADPCM – Adaptive Differential Pulse Code Modulation (адаптивная дифференциальная импульсно-кодовая модуляция);
- ADM – Add-Drop Multiplexer (мультиплексор ввода-вывода);
- ADSL – Asymmetric Digital Subscriber Line (асимметричная цифровая абонентская линия);
- AM – Amplitude Modulation (амплитудная модуляция);
- AMI – Alternate Mark Inversion (биполярное кодирование с альтернативной инверсией);
- ATM – Asynchronous Transfer Mode (асинхронный режим передачи);
- AUI – Attachment Unit Interface (интерфейс подключаемого устройства);
- CDMA – Code Division Multiple Access (множественный доступ с кодовым разделением);
- DCC – Digital Cross Connector (цифровой кросс-коннектор);
- DCE – Data Circuit Equipment (аппаратура передачи данных);
- DNS – Domain Name Service (служба доменных имен);
- DS – Digital Signal (цифровой сигнал);
- DSP – Digital Signal Processor (процессор для обработки цифровых сигналов);
- DSSS – Direct Sequence Spread Spectrum (прямое последовательное расширение спектра);
- DTE – Data Terminal Equipment (оконечное оборудование данных);

DWDM – Dense Wave Division Multiplexing (уплотненное волновое (спектральное) мультиплексирование);

FDDI – Fiber Distributed Data Interface (оптоволоконный интерфейс распределенных данных);

FDM – Frequency Division Multiplexing (частотное мультиплексирование);

FHSS – Frequency Hopping Spread Spectrum (расширение спектра скачкообразной перестройкой частоты);

FM – Frequency Modulation (частотная модуляция);

FSK – Frequency Shift Keying (частотная манипуляция);

GE – Gigabit (гигабит) Ethernet;

ICQ – сленговое сокращение произносимого подобным образом словосочетания I Seek You (я ищу тебя); программа письменного общения людей в Internet в РВ;

IP – Internet Protocol (межсетевой протокол);

ISDN – Integrated Services Digital Network (цифровая сеть с интегрированными услугами);

ISO – International Organization for Standardization (международная организация стандартов);

LAN – Local Area Network (локальная сеть);

LLC – Logical Link Control (управление логическим каналом);

LPC – Linear Predictive Coding (линейное предсказуемое кодирование);

MAC – Medium Access Control (управление доступом к среде передачи);

NRZ – Non Return to Zero (потенциальный код без возвращения к нулю);

NRZI – Non Return to Zero with ones Inverted (потенциальный код без возвращения к нулю с инверсией при единице);

OC-N – Optical Carrier level N (оптоволоконная линия связи уровня N);

OFDM – Orthogonal Frequency Division Multiplexing (ортогональное частотное мультиплексирование);

OSI – Open System Interconnection (взаимодействие открытых систем);

PCM – Pulse Code Modulation (импульсно-кодовая модуляция);

PSK – Phase Shift Keying (фазовая манипуляция);

QoS – Quality of Service (качество обслуживания);

SDH – Synchronous Digital Hierarchy (синхронная цифровая иерархия);

SONET – Synchronous Optical NETs (синхронные оптические сети);

STDM – Statistical Time Division Multiplexing (статистическое временное мультиплексирование);

STM – Synchronous Transport Module level N (синхронный транспортный модуль уровня N);  
 STP – Shielded Twisted Pair (экранированная витая пара);  
 STS – Synchronous Transport Signal level N (синхронный транспортный сигнал уровня N);  
 TCP – Transmission Control Protocol (протокол управления передачей);  
 TDM – Time Division Multiplexing (временное мультиплексирование);  
 TM – Terminal Multiplexer (терминальный мультиплексор);  
 UHF – Ultra High Frequency (ультравысокая частота);  
 UTP – Unshielded Twisted Pair (неэкранированная витая пара);  
 VC – Virtual Container (виртуальный контейнер);  
 WDM – Wave[length] Division Multiplexing (волновое мультиплексирование);  
 WWW (Web) – World-Wide Web («всемирная паутина»);  
 АПД – аппаратура передачи данных;  
 АТС – автоматическая телефонная станция;  
 АЦП – аналого-цифровой преобразователь;  
 АЧХ – амплитудно-частотная характеристика;  
 БД – база данных;  
 ВС – вычислительная система;  
 ГЛОНАСС, ГНСС – глобальная навигационная спутниковая система;  
 ГС – глобальная сеть;  
 КС – (архитектура или взаимодействие типа) клиент-сервер;  
 ЛС – локальная сеть;  
 ООД – окончное оборудование данных;  
 ОС – операционная система;  
 ПК – персональный компьютер;  
 ПО – программное обеспечение;  
 ПС – программная система;  
 САПР – система автоматизированного проектирования;  
 СВЧ – сверхвысокие частоты;  
 СКС – структурированная кабельная система (здания);  
 СУБД – система управления базой данных;  
 ТЧ – тональная частота;  
 ЦАП – цифро-аналоговый преобразователь;  
 ЭВМ – электронная вычислительная машина.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ И РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. 4-е изд. – СПб.: Питер, 2010. – 944 с.
2. Сетевые операционные системы / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. – СПб.: Питер, 2009. – 544 с.
3. Нужнов Е.В. Компьютерные сети и телекоммуникации. Учебное пособие. Часть 1. Введение в компьютерные сети. – Таганрог: Изд-во Технологического института ЮФУ, 2007. – 144 с.
4. Нужнов Е.В. Компьютерные сети и телекоммуникации. Учебное пособие. Часть 2. Технологии локальных и глобальных сетей. – Таганрог: Изд-во Технологического института ЮФУ, 2007. – 144 с.
5. Основы сетей передачи данных. Курс лекций. Учебное пособие / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. – М.: ИНТУИТ.РУ «Интернет-университет Информационных технологий», 2005. – 176 с.
6. Основы локальных сетей. Курс лекций. Учебное пособие / В.Ю. Новиков, С.В. Кондратенко. – М.: ИНТУИТ.РУ «Интернет-университет Информационных технологий», 2009. – 360 с.
7. Основы Web-технологий. Курс лекций. Учебное пособие / П.Б. Храмцов и др. – М.: ИНТУИТ.РУ «Интернет-университет Информационных технологий», 2003. – 512 с.
8. Спортак М., Паппас Ф. и др. Компьютерные сети и сетевые технологии. Platinum Edition – СПб.: ООО «ДиаСофтЮП», 2005. – 720 с.
9. Шиндер Д.Л. Основы компьютерных сетей. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2002. – 656 с.
10. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации / А.П. Пятибратов, Л.П. Гудыно, А.А.Кириченко. М.: Финансы и статистика, 2008. – 736 с.
11. Ethernet, 2013. – <http://ru.wikipedia.org/wiki/Ethernet>.
12. Витая пара, 2013. – [http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B8%D1%82%D0%B0%D1%8F\\_%D0%BF%D0%B0%D1%80%D0%B0](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B8%D1%82%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D0%B0%D1%80%D0%B0) .

13. Оптическое волокно, 2013. –  
[http://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=Оптическое\\_волокно&oldid=54913819](http://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=Оптическое_волокно&oldid=54913819).
14. Курouz Дж.Ф., Росс К.В. Компьютерные сети. Многоуровневая архитектура Интернета. – СПб.: Питер, 2004. – 765 с.
15. Локальная сеть «на вырост» — 10-гигабитный Ethernet. –  
<http://cable.ru/poleznoe/id-257.php>.
16. Рошан П., Лиэри Д. Основы построения беспроводных локальных сетей стандарта 802.11. – М.: Вильямс, 2004. – 304 с.
17. Яценков В.С. Основы спутниковой навигации. Системы GPS NAVSTAR и ГЛОНАСС. – М.: Горячая линия-Телеком, 2005. – 272 с.
18. Обзор систем спутниковой связи, 2001. – <http://www.sec.ru>.
19. GPS. Википедия, 2010. – <http://ru.wikipedia.org/wiki/GPS>.
20. Невдяев Л. ГЛОНАСС – космический радиомаяк России // Сети, 2000, №1. – <http://www.radioscanner.ru/info/article97/>.
21. Подъездков Ю. Космическая глобальная радионавигация: роль и место российской системы ГЛОНАСС, 2009. –  
<http://www.connect.ru/article.asp?id=7910>.
22. Вся правда о GPS-навигации. –  
[http://www.mobimag.ru/Articles/884/Vsya\\_pravda\\_o\\_GPS-navigacii.htm](http://www.mobimag.ru/Articles/884/Vsya_pravda_o_GPS-navigacii.htm).
23. Что такое GPS?, 2009. –  
[http://www.gpsportal.ru/articles\\_info/?nid=bb99aadca14bd2e37baa220f86303e82](http://www.gpsportal.ru/articles_info/?nid=bb99aadca14bd2e37baa220f86303e82).
24. ГЛОбальная НАвигационная Спутниковая Система – ГЛОНАСС (GLONASS) – российская спутниковая система навигации. Ассоциация разработчиков, производителей и потребителей оборудования и приложений на основе глобальных навигационных спутниковых систем «ГЛОНАСС/ГНСС-Форум», 2009. – <http://aggf.ru/glon.html>.
25. ГЛОНАСС. Википедия. –  
<http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%9B%D0%9E%D0%9D%D0%90%D0%A1%D0%A1>.
26. Информационно-аналитический центр координатно-временного и навигационного обеспечения ЦНИИмаш. ГЛОНАСС, 2010. –  
<http://www.glonass-ianc.rsa.ru/pls/htmldb/f?p=201:20:889674486787781::NO>
27. Galileo. Википедия. – <http://ru.wikipedia.org/wiki/Galileo>.

28. Шатилин И. ГЛОНАСС и Галилео против GPS (Источник: <http://www.sotaweek.ru/news/data/23030557.htm>). – <http://www.gisa.ru/21274.html>.
29. Петрова Ю. ГЛОНАСС вопиющего в пустыне // Секрет фирмы, 2007, № 18 (201). – <http://www.sf-online.ru/article.asp?OID=D24E7671-EEFB-4DCB-B29A-187C1EB47B32&sectionOID=&rubricOID=7E197007-9B05-4D87-8471-F53CC1620709&pubOID=3B16040E-32F8-4377-BA29-8A7BC8A3904E>.
30. О системе ГЛОНАСС (Россия). – [http://www.gps-auto.ru/Article\\_287.html](http://www.gps-auto.ru/Article_287.html).
31. Система глобального позиционирования или местоопределения – GPS. – [http://www.gps-auto.ru/Article\\_280.html](http://www.gps-auto.ru/Article_280.html).
32. Поваляев Е., Хуторной С. Системы спутниковой навигации ГЛОНАСС и GPS. Часть 1. – <http://www.chip-news.ru/archive/chipnews/200110/9.html> (или <http://www.sat-tech.ru/glonass-gps.shtml>).
33. Поваляев Е., Хуторной С. Системы спутниковой навигации ГЛОНАСС и GPS. Часть 2. Пользовательское оборудование ГЛОНАСС. – <http://www.sat-tech.ru/glonass-equipment.shtml>.
34. Нужнов Е.В. Перспективные информационные технологии и среды: Учебное пособие. Часть 1. Информационные технологии, телекоммуникационные среды. – Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2010. – 196 с.
35. «Иридиум» – поколение NEXT, 2007. – [http://www.spacemart.com/reports/Iridium\\_NEXT\\_To\\_Be\\_Unveiled\\_At\\_Satellite\\_2007\\_999.html](http://www.spacemart.com/reports/Iridium_NEXT_To_Be_Unveiled_At_Satellite_2007_999.html).

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВВЕДЕНИЕ .....                                                                     | 3  |
| Предмет, цель и задачи дисциплины .....                                            | 3  |
| Структура дисциплины .....                                                         | 5  |
| Особенности дисциплины .....                                                       | 5  |
| МОДУЛЬ 1. ВВЕДЕНИЕ В КОМПЬЮТЕРНЫЕ СЕТИ .....                                       | 8  |
| ГЛАВА 1. ОСНОВЫ СЕТЕЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ .....                                        | 10 |
| ЦЕЛИ.....                                                                          | 10 |
| 1.1. Основные понятия и общие сведения о сетях .....                               | 10 |
| 1.1.1. Эволюция компьютерных сетей.....                                            | 10 |
| 1.1.2. Компьютерная сеть и ее основные компоненты .....                            | 14 |
| 1.1.3. Преимущества использования и проблемы организации сетей ..                  | 15 |
| 1.1.4. Модель взаимодействия и архитектура «клиент-сервер» .....                   | 16 |
| 1.1.5. Классификация компьютерных сетей.....                                       | 18 |
| 1.2. Общие проблемы и принципы построения сетей .....                              | 21 |
| 1.2.1. Физическая передача данных по линиям связи .....                            | 21 |
| 1.2.2. Организация связи нескольких компьютеров.....                               | 23 |
| 1.2.3. Обобщенная задача коммутации.....                                           | 30 |
| 1.3. Коммутация каналов и пакетов.....                                             | 35 |
| 1.3.1. Коммутация каналов.....                                                     | 35 |
| 1.3.2. Коммутация пакетов .....                                                    | 37 |
| 1.4. Структуризация как средство построения больших сетей.....                     | 42 |
| 1.4.1. Физическая структуризация сети .....                                        | 43 |
| 1.4.2. Логическая структуризация сети .....                                        | 45 |
| 1.5. Сетевые службы.....                                                           | 49 |
| 1.6. Архитектура и стандартизация сетей .....                                      | 51 |
| 1.6.1. Многоуровневый подход к разработке средств сетевого<br>взаимодействия ..... | 52 |
| 1.6.2. Модель OSI .....                                                            | 55 |
| 1.6.3. Уровни модели OSI.....                                                      | 58 |
| 1.6.4. Открытые системы.....                                                       | 63 |
| 1.7. Требования к современным компьютерным сетям.....                              | 66 |
| 1.7.1. Показатели качества обслуживания.....                                       | 66 |
| 1.7.2. Производительность сети.....                                                | 67 |
| 1.7.3. Надежность, безопасность и отказоустойчивость.....                          | 68 |
| 1.7.4. Другие требования к сетям .....                                             | 69 |
| 1.8. Контрольные вопросы.....                                                      | 70 |
| ГЛАВА 2. ТЕХНОЛОГИИ ФИЗИЧЕСКОГО И КАНАЛЬНОГО УРОВНЕЙ<br>.....                      | 73 |
| ЦЕЛИ.....                                                                          | 73 |

|                                                                                           |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 2.1. Линии связи и кабельные системы .....                                                | 73  |
| 2.1.1. Физическая среда передачи данных .....                                             | 73  |
| 2.1.2. Аппаратура передачи данных и промежуточная аппаратура .....                        | 76  |
| 2.1.3. Характеристики линий связи .....                                                   | 77  |
| 2.1.4. Стандарты кабелей .....                                                            | 82  |
| 2.1.5. Структурированные кабельные системы зданий .....                                   | 88  |
| 2.2. Кодирование и передача данных .....                                                  | 90  |
| 2.2.1. Модуляция при передаче аналоговых и дискретных сигналов ...                        | 91  |
| 2.2.2. Дискретизация аналоговых сигналов .....                                            | 93  |
| 2.2.3. Методы кодирования .....                                                           | 97  |
| 2.2.4. Предварительное логическое кодирование .....                                       | 102 |
| 2.2.5. Асинхронная и синхронная передачи .....                                            | 105 |
| 2.3. Методы передачи данных канального уровня .....                                       | 106 |
| 2.3.1. Асинхронные протоколы .....                                                        | 107 |
| 2.3.2. Синхронные протоколы .....                                                         | 108 |
| 2.3.3. Виды передачи кадров .....                                                         | 109 |
| 2.3.4. Компрессия данных .....                                                            | 110 |
| 2.3.5. Обнаружение и коррекция ошибок .....                                               | 112 |
| 2.4. Мультиплексирование и коммутация .....                                               | 116 |
| 2.4.1. Коммутация каналов на основе частотного и волнового<br>мультиплексирования .....   | 116 |
| 2.4.2. Коммутация каналов на основе временного мультиплексирования<br>.....               | 119 |
| 2.4.3. Общие свойства FDM- и TDM-сетей, не зависящие от типа<br>мультиплексирования ..... | 122 |
| 2.4.4. Направления и режимы передачи .....                                                | 123 |
| 2.5. Беспроводная передача информации .....                                               | 124 |
| 2.5.1. Беспроводная среда передачи информации .....                                       | 124 |
| 2.5.2. Реализация беспроводных систем .....                                               | 128 |
| 2.5.3. Спутниковые системы .....                                                          | 133 |
| 2.5.4. Технология широкополосного сигнала .....                                           | 138 |
| 2.6. Первичные сети .....                                                                 | 142 |
| 2.6.1. Особенности первичных сетей .....                                                  | 142 |
| 2.6.2. Сети PDH .....                                                                     | 143 |
| 2.6.3. Сети SDH .....                                                                     | 145 |
| 2.6.4. Сети DWDM .....                                                                    | 150 |
| 2.7. Контрольные вопросы .....                                                            | 152 |
| СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ .....                                                                   | 155 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ И РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ<br>.....                                 | 158 |

Учебное издание

Нужнов Евгений Владимирович

## КОМПЬЮТЕРНЫЕ СЕТИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

Учебное пособие

Часть 1. Введение в компьютерные сети

|           |                |
|-----------|----------------|
| Редактор  | Белова Л.Ф.    |
| Корректор | Селезнева Н.И. |

|                               |                   |
|-------------------------------|-------------------|
| Подписано к печати 22.09.2014 | Формат 60x84 1/16 |
| Бумага офсетная.              | Печать офсетная.  |
| Усл. п. л. – 10,1             | Уч.-изд. л. – 9,8 |
| Заказ №                       | Тираж 100 экз.    |

«С»

---

Издательство ЮФУ

344091, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 200/1, тел. (863) 2478051  
Отпечатано в Секторе обеспечения полиграфической продукцией  
кампуса в г. Таганроге отдела полиграфической, корпоративной и  
сувенирной продукции ИПТ КИБИ МЕДИА ЦЕНТРА ЮФУ  
ГСП 17А, Таганрог, 28, Энгельса, 1, тел. (8634) 371717, 371655