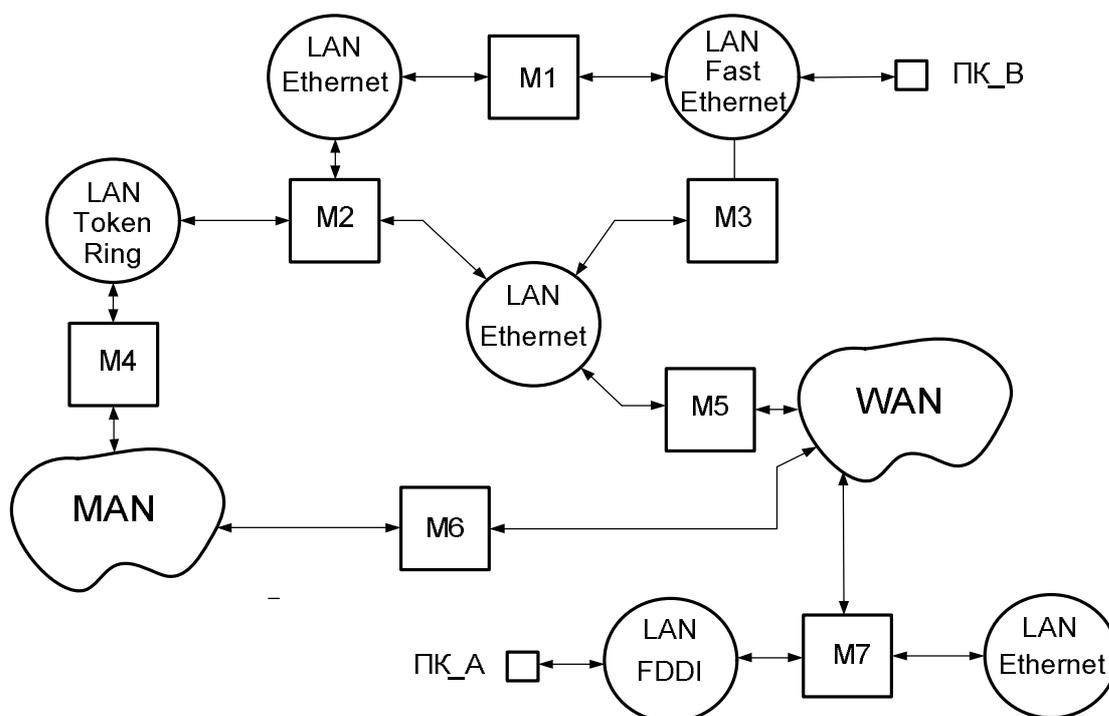


В.М.БЕЛЬФОР, В.Н.СУРИКОВ

СЕТЕВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ АСУ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ



**Санкт-Петербург
2012**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ РАСТИТЕЛЬНЫХ ПОЛИМЕРОВ»

В.М.Бельфор, В.Н.Суриков

СЕТЕВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ АСУ

Учебное пособие

Рекомендовано федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)» в качестве учебного пособия для специалистов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 220301 «Автоматизация технологических процессов и производств ЦБП» направления подготовки 220300 «Автоматизация технологических процессов и производств

**Санкт-Петербург
2012**

ББК 32.968 я 7
Б 442
УДК 681.3 (075)

Бельфор В.М., Суриков В.Н. Сетевые информационные технологии АСУ:
учебное пособие / СПб ГТУРП. - СПб., 2012. -118 с.: ил.57.
–ISBN 978-5-91646-029-2

В учебном пособии отражены вопросы применения современных сетевых информационных технологий для развития и модернизации АСУ технологическими процессами и производствами, которые часто строятся как модули в более масштабных вычислительных и телекоммуникационных сетях. Учебное пособие может быть использовано и для студентов непрофильных специальностей других вузов.

Учебное пособие содержит 3 части, в которых рассматриваются компьютерные сети, организация передачи информации в компьютерных и телекоммуникационных сетях, повышение пропускной способности каналов связи, физические среды передачи информации и правовые основы работ по проектированию и модернизации информационных сетей предприятий и корпораций. Приводится пример построения сети на предприятии.

Предназначено для студентов, обучающихся по специальности 220301.65 «Автоматизация технологических процессов и производств ЦБП».

Рецензенты:

зав. кафедрой «Информационно-измерительные технологии и системы управления» СПб ГТУРП, д-р техн. наук, профессор Кондрашкова Г.А.;
профессор кафедры «Системы управления и информатики» НИУ СПб ГУ ИТМО, д-р. техн. наук Ушаков А.В.

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом университета в качестве учебного пособия.

ISBN 978-5-91646-029-2

© Бельфор В.М., Суриков В.Н., 2012
© Санкт-Петербургский
государственный технологический
университет растительных
полимеров, 2012

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	4
Введение.....	5
Часть I. Компьютерные сети в управлении.....	7
Тема 1. Сети: их архитектура, принцип работы, сравнительные характеристики.....	-
Тема 2. Организация обмена информацией в сетях на базе модели ВОС/МОС.....	16
Тема 3. Обмен в локальных вычислительных сетях.....	21
Тема 4. Представление информации в каналах связи.....	29
Тема 5. Физические среды передачи данных.....	38
Тема 6. Типовые технологии локальных вычислительных сетей.....	50
Часть II. Телекоммуникации общего пользования.....	58
Тема 7. Основы телефонии.....	-
Тема 8. Организация передачи информации в телефонной сети.....	64
Тема 9. Коммутация и коммутаторы в телефонных и вычислительных сетях.....	72
Тема 10. Технологии сетей общего пользования.....	78
Тема 11. Мобильные телесистемы.....	89
Тема 12. Интегрированные информационные сети.....	97
Часть III. Модельное построение сети.....	105
Тема 13. Правовые основания строительства промышленных сетей.....	-
Тема 14. Пример построения сети на предприятии.....	111
Библиографический список.....	118

ПРЕДИСЛОВИЕ

Информационные технологии пронизывают все области человеческой деятельности, в них не делается различий между смыслами, которые несут огромные потоки сигналов. Более того все сигналы проходят по локальным или/и глобальным сетям. Ученые и инженеры разрабатывали информационные технологии и продолжают трудиться над их совершенствованием прежде всего для технических систем, к которым относится АСУ ТП, вычислительные комплексы, системы управления и связи.

В настоящее время развитие АСУ технологическими процессами и производствами в целлюлозно-бумажной и других отраслях промышленности неразрывно связано с применением современных сетевых информационных технологий.

В этой связи в пособии рассмотрены основы построения компьютерных сетей, организации передачи информации в компьютерных и телекоммуникационных сетях АСУ.

Авторы выражают глубокую благодарность профессору СПб ГУ телекоммуникаций им. проф. М.А.Бонч-Бруевича, доктору технических наук, академику «Международной академии «Информация, связь, управление» (МАИСУ)) и «Международной академии фундаментального образования (МАФО))» Я.С. Дымарскому за рекомендации в подборе материала для нового курса. Теплой признательности заслуживает преподавательский коллектив кафедры автоматизации технологических процессов и производств факультета АСУ ТП за поддержку при введении новой дисциплины в учебный процесс.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время практически не существует области производственных или общественных отношений, которая не использовала бы возможности информационных технологий. Их технической базой являются сети – компьютерные и телекоммуникационные. Да и сами компьютерные сети называют также сетями передачи данных, а в сетях телекоммуникаций все большую долю составляет оборудование цифровой вычислительной техники. Как в одних, так и в других сетях применяются одинаковые методы повышения производительности каналов передачи информации и ее маршрутизации. Поэтому можно говорить о нарождающемся более широком классе – классе информационных (инфокоммуникационных) сетей.

Информационные сети – технические системы для хранения, передачи и генерации информации. Под информацией же принято понимать содержание, смысл сообщения, сделанного любым отправителем любому одному или многим получателям в любой форме с использованием подходящего носителя.

Изучение обмена информацией в биологических системах основывается на выявлении сигналов – носителей информации, изучении их характеристик и закономерностей. Так обстоят дела, например, при работе с дельфинами. В технических же системах все регламентируется жестко: для перевода любого смысла в последовательность сигналов фиксированной природы применяется известный алгоритм, сигналы передаются от отправителя к получателю, принимающая сторона с использованием известного алгоритма (обратного примененному при отправлении) восстанавливает содержание, т.е. получает информацию. Именно такая жесткая регламентация позволила отождествить информацию и цифровые сигналы в технических системах и измерять их в одинаковых единицах – битах. Информацию же в биологических системах измерять еще не научились.

И еще на один термин, широко используемый в технических системах передачи информации, хотелось бы обратить внимание. Когда сигналы, их группы или другие объекты следуют один за другим сплошным потоком переменной интенсивности по одному из фиксированного числа маршрутов, то сам поток с его характеристиками называют трафиком. Поэтому журналистский штамп о “наркотрафике”, применяемый к событиям эпизодического характера с неопределенным числом путей их осуществления, является некорректным.

Предлагаемый курс носит, с одной стороны, информационный характер, знакомит с тем, что происходит в вычислительных сетях, как это обычно бывает и какова правовая база этих процессов. С другой стороны, в курсе содержатся сведения и рекомендации, связанные с размещением, выбором

физической среды передачи информации в сетях управления как отдельными производствами, так и предприятиями и их объединениями в целом.

Именно поэтому общие представления об организации сетей на различных этапах их жизненного цикла включают и вопросы подготовки технического задания, и основы прокладки кабельных линий с целью минимизации последующих затрат на развитие сети, и эксплуатационные характеристики сред передачи данных.

В курсе рассматриваются способы формирования и представления информации с целью ее транспортировки.

Особое внимание уделяется собственно средам передачи информации: их свойствам, вариантам использования, сравнительным характеристикам. Это объясняется значительной долей кабельной продукции и стоимости ее «выноса в натуру» в общих затратах на строительство любой сети. По той же причине в качестве модельного примера проектирования сети приводится проект размещения каналов связи между узлами сети управления предприятием.

ЧАСТЬ I. КОМПЬЮТЕРНЫЕ СЕТИ В УПРАВЛЕНИИ

ТЕМА 1. СЕТИ: ИХ АРХИТЕКТУРА, ПРИНЦИП РАБОТЫ, СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Вычислительная сеть – территориально распределенная вычислительная система, состоящая из взаимодействующих вычислительных машин, абонентских пунктов и терминалов (узлов сети), связанных между собой каналами передачи данных с целью коллективного использования аппаратных, программных и информационных ресурсов.

Как следует из определения, любая вычислительная сеть состоит из набора абонентских систем (это ответ на вопрос: “что?”) и сети передачи данных (а это уже ответ на вопрос: “как?”). В качестве первых могут выступать любые генераторы, хранители, переработчики или потребители информации. “Начальник” любой из этих систем – абонент. Сеть связи состоит из физических средств передачи информации и аппаратно-программных средств сопряжения абонентских систем. Физические средства передачи – приемопередатчики, повторители и собственно среда передачи сигнала – носителя информации. К средствам сопряжения относятся модемы, контроллеры, коммутаторы, разветвители, бриджи и программы-протоколы, регламентирующие работу связных устройств (средств сопряжения).

Определение, кроме того, отвечает и на вопрос: “во имя чего?”. Ведь своевременно достигнутая цель построения и эксплуатации вычислительной сети позволяет не только получить больший результат с меньшими затратами, но и повысить живучесть всей системы.

Сети могут быть однородными и неоднородными, централизованными и децентрализованными, глобальными, региональными и локальными, с коммутацией каналов, сообщений, пакетов. Различаются они и по размещению, т.е. по топологии.

На практике применяются пять базовых видов топологии вычислительных сетей: звездообразная, кольцевая, шинная, древовидная и многосвязная. Выбор той или иной топологии сети определяется такими критериями, как надежность, расширяемость, стоимость, пропускная способность, скорость работы (задержка сети). Большинство критериев выбора топологии в пояснениях не нуждаются. А под задержкой сети подразумевается время между выдачей сообщения абонентом-источником (отправителем) и получением этого сообщения абонентом-получателем (адресатом). Выбор топологии – это лишь один из шагов проектирования сети. Эффективность связи в большей степени зависит как от характеристик каналов связи, так и от мощности оборудования в узлах сети, а также от параметров нагрузки, характеристик потока передаваемых сетью данных - трафика. Тем не менее, проектные решения, принятые в отношении каналов связи, зачастую наиболее долгосрочны, так как для их изменения могут потребоваться большие затраты. Это позволяет нам

рассматривать каналы связи как фактор, наиболее полно характеризующий сеть на каждом этапе ее жизненного цикла.

Рассмотрим каждый из базовых видов топологии вычислительной сети.

Звезда

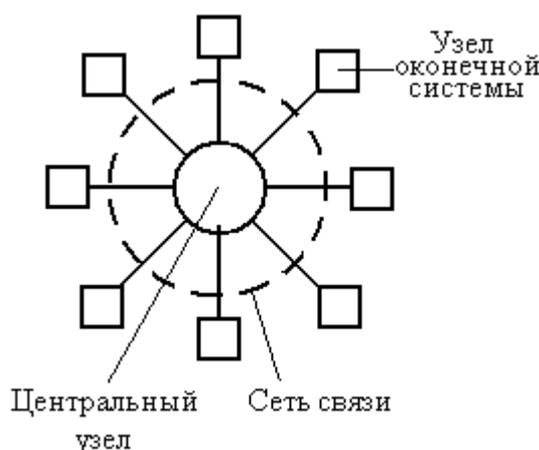


Рис.1.1. Топология «Звезда»

В сетях этой топологии (рис.1.1) каждый абонент, будь то отправитель или получатель, непосредственно каналом связи соединен с центральным узлом сети, который и является регулировщиком всех информационных потоков сети.

При этом сначала идет запрос на соединение (физическое или логическое), после установления соединения – обмен, по окончании обмена – снова запрос на разрыв связи. С точки зрения надежности сети отказ центрального узла равносителен отказу всей сети. Отказ одного из лучей звезды не влияет на функционирование всех остальных. Расширяемость определяется емкостью центрального узла, который сам по себе довольно дорог. В этой топологии достаточно высока цена собственно кабелей и их прокладки, больше, чем в сетях других топологий с тем же числом узлов (больше шести). Пропускная способность определяется производительностью центрального узла – коммутатора и нагрузкой, создаваемой абонентами. Современные электронные учрежденческие коммутационные станции обеспечивают порядка 4000 соединений в секунду со скоростью обмена по каналу 64 кбит/с (это без уплотнения, а с использованием уплотнения – до 128 кбит/с). Приведенные и другие оценки характеристик сети топологии “Звезда” представим в виде табл. 1.1.

Таблица 1.1

Характеристики сети топологии “Звезда”

Характеристика	Оценка
1. Пропускная способность	Определяется скоростью работы центрального узла

Характеристика	Оценка
2. Задержка	При большой нагрузке на сеть запросы на обмен могут быть блокированы (поставлены в очередь) в центральном узле
3. Надежность	Отказ конечной системы – только ее отказ, отказ центрального узла – отказ всей сети
4. Управляемость и устойчивость	Из одного узла легче управлять, но накладные расходы на управление довольно высоки
5. Скорость передачи по основному кабелю	Определяется типом кабеля, соединяющего узел сети с ее центральным узлом
6. Протяженность	Существует предел длины кабеля до центрального узла
7. Максимальное число узлов	Сколько портов связи в центральном узле, столько (или меньше) и конечных узлов
8. Стоимость на один узел конечной системы	Примерно 50% – цена центрального узла, остальное – кабель

Кольцо

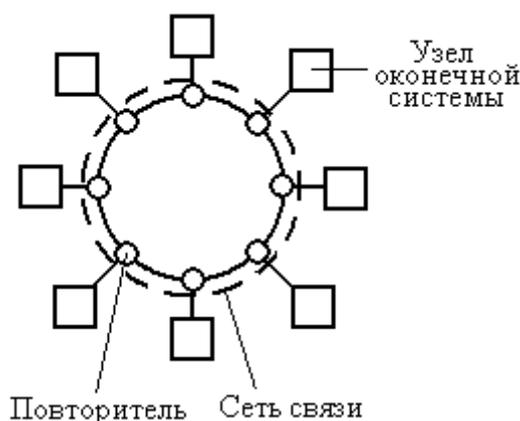


Рис.1.2. Топология сети типа “Кольцо”

В таких (рис.1.2) сетях каждый узел подключен к повторителю (одному или двум), которые объединены кабельным кольцом с однонаправленным потоком. Таких колец может быть два с противоположными направлениями движения (как на Кольцевой линии московского метро). Это ускоряет доставку сообщений, но удорожает сеть.

При отправке каждое сообщение снабжается адресом получателя, который опознается каждым повторителем кольца. В случае несовпадения с собственным адресом сообщение идет дальше, иначе – повторитель принимает его и либо только поглощает для своего узла, либо поглощает и посылает дальше до поглощения узлом-источником сообщения в качестве квитанции доставки адресату.

По типу доступа к сети различают методы маркерного кольца и тактовой последовательности. Вращающийся по кольцу управляющий маркер разрешает передачу от своего владельца. Если узел, имеющий сообщение для передачи, получил маркер, он его захватывает и удерживает, пока не получит от адресата подтверждение о получении его отправления (посланное сообщение сделало круг и вернулось к отправителю). Отпущенный маркер идет к следующему узлу.

Если по кольцу вращается тактовая последовательность, то каждый такт снабжается флажком занятости. Дисциплина заполнения тактов может либо быть свободной, либо состоять в закреплении одного такта за одним узлом. Если число вагонов поезда метро (тактов в последовательности) равно числу станций (узлов в кольце), то на каждой станции сесть можно либо в “свой” вагон, либо в свободный, но в “занятый” – нельзя, так как он не открывается не на “своей” станции.

Наименее надежным элементом в кольце является повторитель. Он либо лишает свой узел входа в сеть, либо стопорит весь поток. Поэтому повторители включают в себя резервирование с питанием от автономного источника. Резервная схема шунтирует повторитель и просто исключает “свой” узел из сети.

Расширять кольцо легко, но включение каждого нового повторителя увеличивает задержку сети на 4,8 мкс. Пропускная способность и задержка определяются организацией работы повторителя. Скорость передачи носителей информации в кольце может превышать 100 Мбит/с.

Для сети кольцевой топологии составим аналогичную таблицу характеристик (табл. 1.2).

Таблица 1.2

Характеристики сети топологии “Кольцо”

Характеристика	Оценка
1	2
1. Пропускная способность	С ростом числа узлов растет среднее время передачи сообщений из-за задержки в каждом узле
2. Задержка	Является функцией числа узлов.
3. Надежность	Отказ одного узла выводит из строя всю сеть. Есть способы защиты, например, расширением топологии до радиальнокольцевой
4. Управляемость и устойчивость	Сами схемы сопряжения с сетью достаточно просты и надежны
5. Скорость передачи по основному кабелю	Достигает 150 Мбит/с и более (если применен оптоволоконный кабель)
6. Протяженность	Ограничения на длину кольца связаны с большей или меньшей устойчивостью

1	2
	синхронизации (наблюдается явление джиттера – дрожание фазы синхросигнала)
7. Максимальное число узлов	На практике не превышает 100
8. Стоимость на один конечный узел	Меньше, чем в любой другой топологии

Шина

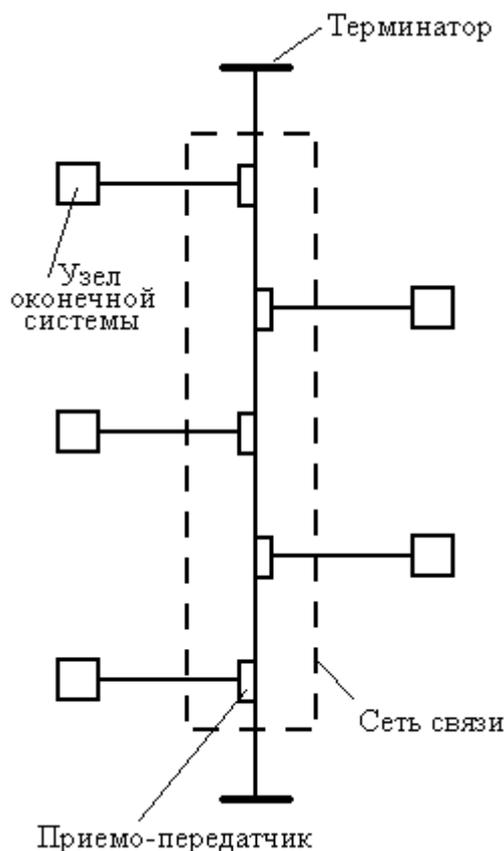


Рис.1.3. Топология сети типа “Шина”

Узлы сети этой топологии (рис.1.3) подключаются к одному каналу связи с помощью приемо-передатчиков. С концов канал заглушается пассивными терминаторами, поглощающими (убивающими) сигналы для исключения эха. В большинстве случаев передающая среда представляет собой одну или несколько секций кабеля, связанных специальными соединителями, и образующих так называемый сегмент кабеля. Подключиться к шине означает создать контакт приемо-передатчика узла с информационным каналом. Это удобно сделать в точке соединения двух секций кабеля. Однако, если для шины применен коаксиальный кабель, то подключение узла в любом месте (эти места на кабеле с шагом 2,5 м отмечены цветовыми метками) может обеспечить “врезка” - игла, прокалывающая кабель до центральной жилы.

Каждый узел имеет свой уникальный адрес и принимает сообщение только при совпадении адреса получателя со своим адресом или в случае передачи сообщения “для всех”.

Для организации общего пользования каналом вводится дисциплина – метод доступа. Он может быть детерминированным, подчиненным заранее выбранному порядку, или инициализация обмена генерируется узлом в случайные моменты времени.

Маркерный доступ – пример детерминированного метода доступа. При этом все узлы логически упорядочены в кольцо, каждый узел “знает” соседа слева и справа, владелец маркера (как в кольцевой топологии) имеет право на передачу. Если узлу нечего передавать, маркер переходит к соседу. Один узел владеет маркером, остальные – нет (почти как в футболе, хоккее и других игровых видах спорта). Это и означает детерминированность, определенность.

Наибольшее распространение среди методов случайного доступа получил метод множественного доступа с контролем несущей и обнаружением конфликтов (МДКН/ОК). Наличие в канале несущей (колебаний несущей частоты, подверженных модуляции того или иного вида) – сигнал занятости канала. Если несущей нет, то канал свободен, т.е. можно начать передачу. Но любой сигнал имеет конечную скорость распространения. И другой узел, пока до него не дошел сигнал от узла, начавшего передачу, также может начать свою передачу. Вот здесь и возникает конфликт (наложение передач). Узлы, “узнав” о конфликте (приняв сигнал “для всех” от узла, обнаружившего конфликт первым), откладывают свои передачи и через случайное время ожидания повторяют их вновь. Эта ситуация иллюстрируется схемой на рис. 1.4.

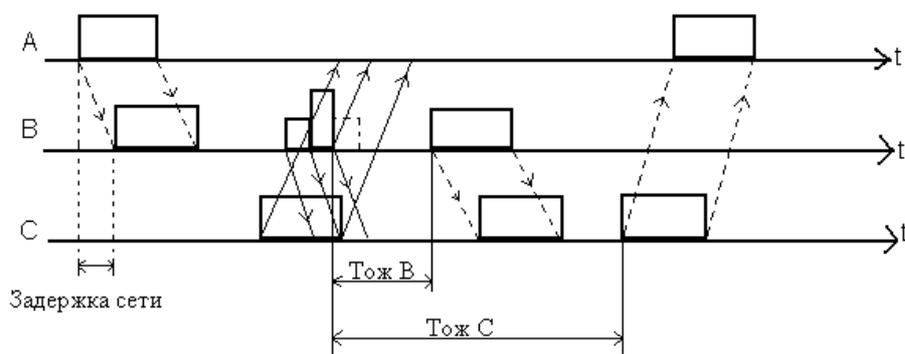


Рис.1.4. Конфликт в сети и его разрешение

Узел А без конфликта передал сообщение узлу В. Узел С начал передачу сообщения узлу А, но вскоре узел В начал свою передачу в адрес узла С. Как только сигнал передачи от С дошел до В, передающий узел В прекратил передачу сам и сформировал сигнал “затора” “для всех”. Узел С,

приняв сигнал “затора”, тоже прекратил передачу. Наступила пауза. Она была нарушена через случайное время $T_{ож}$ узлом В. В этот раз передача прошла бесконфликтно. Узел С решил сделать паузу $T_{ож}$ С, более продолжительную (она столь же случайна), и для него сеанс связи завершился благополучно.

В шине сигнал затухает, поэтому на большое количество абонентов такую сеть не строят. По этой же причине подключения и общее число узлов имеют ограничения. Например, для сети Ethernet на коаксиальном кабеле общее число врезок и соединителей не должно превышать 100; сами врезки должны отстоять друг от друга не менее, чем на 2,5 м (как уже отмечалось, на кабеле Ethernet имеются специальные цветные метки) при общей длине сегмента до 500 м.

Пропускная способность шины и задержка зависят от метода доступа, полосы пропускания, числа узлов, длины сообщений и т.д. В случайной шине (в шине со случайным методом доступа) коэффициент использования канала может достигать 95 %, но он резко падает при увеличении длины сообщений, общей длины кабеля и росте числа конфликтов при повышении нагрузки на сеть. Эффективность маркерной шины близка к эффективности маркерного кольца.

Древовидные сети

Сети этой топологии (рис.1.5) строятся на базе техники кабельного телевидения. Это означает применение аналоговых устройств – частотных ретрансляторов, двунаправленных усилителей, объединителей – расщепителей, ответвителей, радиочастотных модемов, фильтров. Основное преимущество этой топологии – большая протяженность (до 50 км) и возможность параллельной передачи изображений, речи, данных за счет частотного, а не временного, как в сетях других топологий, уплотнения канала. Оба эти приема уплотнения будут рассмотрены ниже.

Наращивание сети с передачей голоса и картинки связано с установкой дорогих и сложных аналоговых компонентов, требующих к тому же периодической настройки. Поэтому перспектива расширения должна быть заложена при проектировании мест установки аппаратуры и трассировке кабеля.

Надежность сети достигается за счет структурного резервирования технических средств с временем наработки на отказ до 400 тыс. ч. Полоса пропускания 400 МГц и более позволяет реализовать уже упомянутое частотное уплотнение.

Оценки характеристик сетей двух последних топологий весьма близки, поэтому для них будет общая таблица (табл. 1.3).

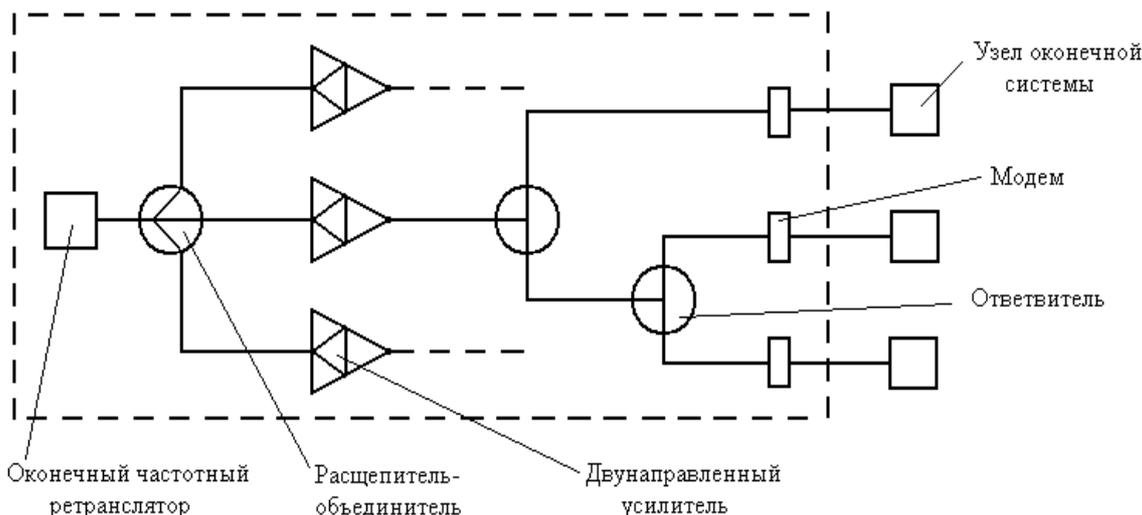


Рис.1.5. Топология сети типа «Дерево»

Таблица 1.3

Характеристики сетей топологий “Шина” и “Дерево”

Характеристика	Оценка
1. Пропускная способность	В маркерной шине падает с ростом числа узлов, в случайной – падает при длинных сообщениях. В древовидной – высокая
2. Задержка	В маркерной шине – функция числа узлов, в случайной – нагрузки на сеть. В древовидной – заметный вклад аналоговых элементов
3. Надежность	Отказ узла – только его проблема. Отказ кабеля в шине приводит к отказу всей сети, а в древовидной – только ветки
4. Управляемость и устойчивость	Случайная шина управляется труднее: надо различать шумовые помехи и конфликты. Древовидная сеть требует периодической настройки аналоговых компонентов
5. Скорость передачи по основному кабелю	Может достигать 50 Мбит/с и более в обеих топологиях. Например, в сети FastEthernet – 100 Мбит/с
6. Протяженность	В шинной топологии не более 2,5 км (5 сегментов при большинстве применяемых протоколов), в древовидной – 50 км и более
7. Максимальное число узлов	В случайной шине – обычно не более 100. В древовидной сети при использовании широкополосного кабеля – до 1000. Изменение числа узлов на работоспособность сети не влияет
8. Стоимость на один оконечный узел	В случайной шине – средняя между “Кольцом” и “Звездой”; в древовидной – соизмерима со “Звездой”

Многосвязные сети

Глобальные сети строятся на многосвязной, смешанной топологии (рис. 1.6). Их характеристики часто суммируют показатели использованных схем. Это, в частности, связано с неоднозначностью пути следования сообщения от отправителя к адресату и проблемами маршрутизации. Но в то же время повышается надежность доставки сообщений – не одним, так другим путем. Кроме того, смешанная топология более адекватно отражает структуру информационных потоков между узлами, а также более полно учитывает требования аппаратного резервирования и комплекс расходов, связанных с установкой, эксплуатацией и развитием сети.

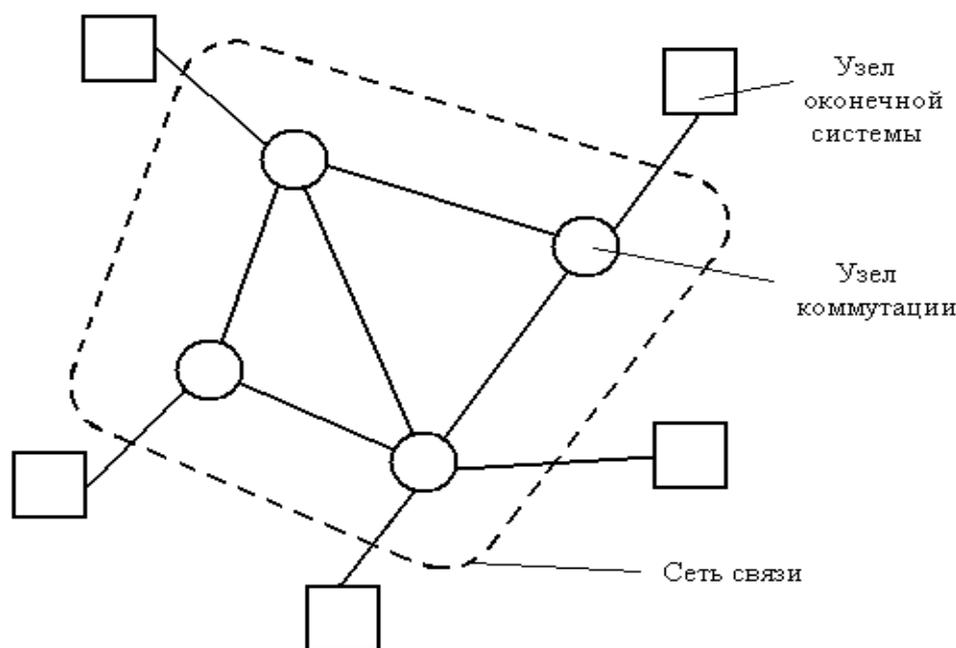


Рис.1.6. Топология многосвязной сети

Вопросы для самопроверки:

1. Дайте определение вычислительной сети и объясните его структуру.
2. Перечислите базовые топологии сетей.
3. Задержка сети. В какой топологии она наименьшая, а в какой наибольшая?
4. Оцените время ожидания отправки в кольце с маркерным доступом протяженностью 1,5 км и числом узлов – 20.
5. Оцените сверху время риска столкновения (конфликта) в случайной шине 100 м.
6. Приведите пример массового производства устройства с организацией по шинной топологии.
7. Назовите качественное отличие одной из топологий от всех остальных.

ТЕМА 2. ОРГАНИЗАЦИЯ ОБМЕНА ИНФОРМАЦИЕЙ В СЕТЯХ НА БАЗЕ МОДЕЛИ ВОС/МОС

Для наведения “порядка” в правилах обмена информацией между абонентами одной или разных сетей Международная Организация по Стандартизации ISO (МОС) разработала модель Взаимодействия Открытых Систем (ВОС), именуемую “модель ВОС/МОС”, которая описана в документе ISO IS7498.

Тожественную рекомендацию выпустил Международный Консультативный Комитет по Телеграфии и Телефонии (МККТТ). Она имеет шифр X.200.

Мы не ставим своей целью подробно разобраться в этих документах, поэтому ограничимся основными архитектурными и функциональными моментами.

Модель предусматривает 7 уровней открытой сети, и для каждого их них вводятся стандарты протокола, определяющие функции уровня в процессе обмена, чтобы одноименные уровни различных узлов сети (сетей) могли понимать друг друга.

Процедуры обмена между соседними уровнями одного узла моделью не регламентируются, так как процесс обмена между узлами сети не определяют.

Архитектура сети в терминах эталонной модели ВОС/МОС выглядит так. Представим каждый узел, связанный сетью, столбиком в 7 “этажей” (рис.2.1). Для связи различных узлов могут потребоваться специальные связные устройства. Набор их функций определяется типом связываемых узлов.



Рис.2.1. Архитектура сети в модели ВОС /МОС

Так, близко расположенным узлам А и В ничего дополнительного не надо, если они из одной однородной сети (сеть из однотипных

вычислительных машин в узлах однородна). Но если подобные узлы В и С находятся на значительном расстоянии, может потребоваться повторитель – усилитель мощности передаваемых сигналов.

Для объединения двух однородных сетей одинаковой топологии в одну большую сеть через узлы С и D применяется мост. Это устройство для соединения двух полностью идентичных сетей, когда физические или логические ограничения не позволяют сделать одну сеть с узлами обеих сетей. Например, объединить две Ethernet, когда длина кабеля не позволяет этого сделать. В бытовом понимании мост также соединяет однородные объекты, будь то мост через реку, через железнодорожные пути или зубной протез.

Если связываются однородные сети различных топологий, в качестве связного устройства применяется коммутатор, который может выполнять роль центрального узла в топологии “Звезда”.

В том случае, когда соединяемые сети отличаются по всем уровням (разнородные сети), необходима оконечная система типа шлюз, в которой согласование осуществляется на уровне прикладных программных систем. Шлюз – устройство для соединения двух неоднородных сетей и обычно заметно пользователям этих сетей (в отличие от моста, который им не заметен). Введение шлюза необходимо для учета различий соединяемых сетей. К таким отличиям можно отнести:

- а) различия в адресации, тогда шлюз преобразует их;
- б) различие способов оплаты, тогда в шлюзе идут проверка полномочий пользователя и учет использования ресурсов;
- в) различие протоколов, тогда шлюз осуществляет необходимые преобразования или предотвращает попытку пользователя одной сети воспользоваться недоступными для него средствами другой сети, о чем выдается соответствующее сообщение.

В речном судоходстве шлюз выполняет ту же функцию согласования, выравнивания уровня воды внутри шлюза и вне его в направлении движения судна.

Каждое связное устройство выполняет объем работ и использует ресурсы, необходимые для выполнения его функций.

Функции распределяются между уровнями в соответствии с моделью ВОС/МОС. Самый верхний, седьмой уровень, называется прикладным. **Прикладной уровень** обеспечивает преобразование данных, специфичных для каждой прикладной системы. Например, формирование документов в соответствии с принятым у себя и для себя стандартом (нормами), служба каталогов.

Шестой уровень – представлений, осуществляет преобразование данных в формат, согласованный для общего понимания (русский с китайцем должны договориться об общем языке, например, английском), сжатие, шифрование (для сохранения, например, коммерческой тайны).

Пятый уровень – **сеансовый**. Управляет диалогом на протяжении сессии, добавляет своему соседу снизу удобства обращения, например, NETBIOS. Здесь термины “сеанс” и “сессия” несут общеупотребительный смысл. Сеанс – выполнение определенного требуемого объема работы (врачебные процедуры, демонстрация кинофильма), сессия – временной интервал для выполнения работы в полном или частичном объеме. В экзаменационную сессию не все студенты, к сожалению, успевают сдать все экзамены.

Четвертый – **транспортный уровень**, выполняет управление сквозной передачей сообщений с контролем и исправлением ошибок. В том числе, при необходимости, разбивает сообщение на меньшие сегменты – пакеты (кадры).

Третий - **сетевой уровень** обеспечивает маршрутизацию пакетов и управляет загрузкой канала передачи информации.

Второй - **канальный уровень** приспособливает формат данных к конкретному каналу, осуществляет свободную от ошибок передачу по отдельному каналу связи.

Самый нижний **физический уровень** является средой передачи бит данных.

Локальные сети охватываются тремя нижними уровнями.

Рассмотрим процесс общения между должностными лицами абонентов А и В. Отправитель, пусть для определенности это будет А, считает, что для доставки сообщения получателю В достаточно сообщить на соседний нижний уровень своему помощнику по административной работе имя адресата. Помощник предполагает, что сообщение будет отправлено следующим нижним уровнем – курьером, если документ поместить в конверт, написать полный адрес и наклеить почтовую марку (поставить штемпель). Курьерский уровень передаст конверт вместе с другими, накопившимися за два дня, на следующий нижний уровень. В конце концов, некоторый уровень отвечает за физическую доставку пакета.

Во всей этой цепи автор послания может не иметь никакого понятия о технологии системы доставки. Он целиком полагается на сервисы, предоставляемые нижележащими уровнями, и не беспокоится о том, как именно они реализуются. А это означает, что уровень волен в выборе способа реализации своей функции. “Что” - уровню задано, а вот “как” - не регламентируется. Приедет курьер на автомобиле, велосипеде или придет пешком - пакет все равно будет доставлен без повреждений и в срок.

С другой стороны, схема работы каждого нижнего уровня может быть сведена к процедуре инкапсуляции. Это – упаковка данных формата верхнего уровня в формат протокола своего уровня, т.е. обрамление данных служебной информацией. Эта оболочка (капсула) не открывается и не считывается нижележащими уровнями, через которые она передается.

Процесс инкапсуляции проиллюстрируем следующей схемой (рис.2.2). Пусть А хочет передать В файл F.

Это значит, что на прикладной уровень узла А поступил блок F. Уровневый протокол принимает его и добавляет свою информацию с помещением ее в заголовок прикладного уровня (Application Head). Уровень VI воспринимает эти два блока как один и снабжает его заголовком PH.

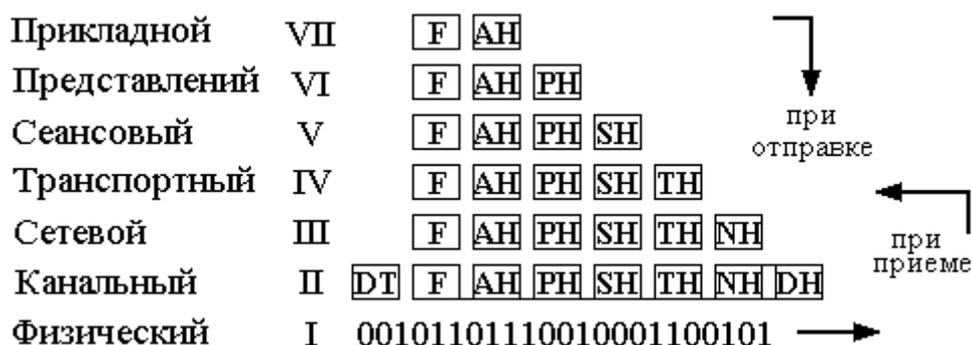


Рис.2.2. Технология общения в сети

Аналогично действуют уровни V, IV, III. Только на канальном уровне добавляется как заголовок DH, так и трейлер DT (прицеп) для обнаружения ошибок. Так что трейлер – не автопоезд, а только прицеп к тягачу.

В узле В в процессе получения послания от А одноименные уровни отделяют то, что добавляли их “коллеги” у отправителя, и передают на свой верхний уровень вплоть до адресата.

Как уже отмечалось, модель ВОС/МОС определяет стандарты протокола и стандарты интерфейса. Однако регламентированы в модели только стандарты протокола. Например, TCP/IP (Transmission Control Protocol / Internet Protocol – Протокол управления передачей) или SNA (IBM). Протокол – это соглашение, касающееся управления процедурами информационного обмена между участниками взаимодействия. Если после саммита глав государств подписывается протокол, то он содержит перечень задач, которые согласны решать обе стороны. Однако он не обязывает использовать конкретный способ их решения. Протокол о намерениях в бизнесе также не несет никаких последствий для сторон.

Термин “интерфейс” употреблен в смысле “сопряжение на границе раздела двух устройств или программ”. Естественно, у каждого абонента сети может быть свой набор интерфейсов, отличный от аналогичного набора других абонентов. Это на осуществление процесса взаимодействия влияния не оказывает. Поэтому интерфейсы не регламентированы моделью ВОС/МОС.

Примером интерфейса может быть стандарт МККТТ V/35 для сопряжения терминального оборудования с устройством канала связи (например, модемом), более известный как интерфейс RS-232C (рис. 2.3). По стандарту используется разъем DB-25, но в IBM применяют DB – 9.

Этот интерфейс предназначен для поддержания высокоскоростной передачи со скоростями до 64 кбит/с. Он включает управляющие сигналы, синхронизирующие и сигналы данных.

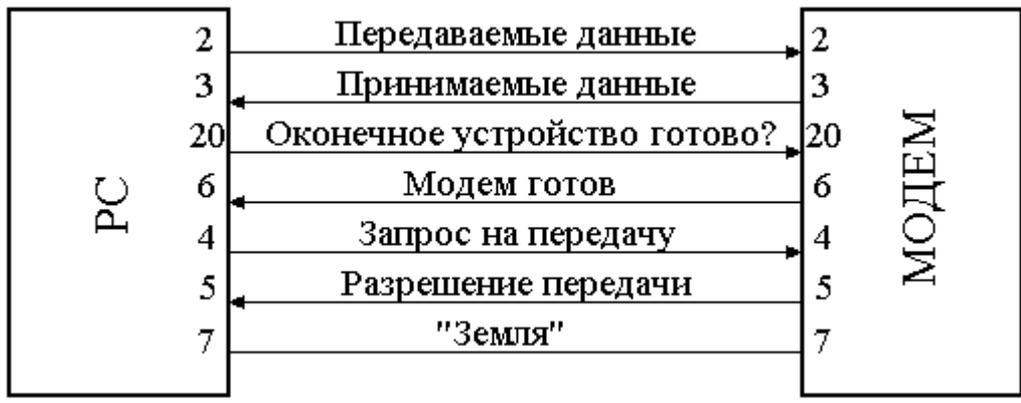


Рис. 2.3. Интерфейс RS –232C

Вопросы для самопроверки:

1. Для чего необходима модель ВОС/МОС?
2. Перечислите уровни модели ВОС/МОС и их функции.
3. Проведите качественное сравнение “сеанса” и “сессии”.
4. Перечислите уровни ЛВС.
5. Каковы схема и механизм прохождения сообщения между узлами сети?
6. Что такое “трейлер”?
7. Что такое “интерфейс”?

ТЕМА 3. ОБМЕН В ЛОКАЛЬНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ

ЛВС была разработана как способ соединения компьютеров, сначала мини-ЭВМ, а затем и РС. ЛВС решали проблему распределения ресурсов, так как вычислительных мощностей тогда не хватало. Сегодня ЛВС используются как в технологическом цикле, так и в управлении производством в целом. И даже объединение нескольких ЛВС в одну сеть не переводит общую сеть в разряд региональных, а тем более глобальных, она остается локальной вычислительной сетью.

Для функционирования ЛВС требуется интеграция многих различных компонентов, которые определяют, как узлы сети соединяются, какая среда передачи будет использоваться, в каком формате будут передаваться данные и как обеспечить одновременную передачу данных между несколькими узлами с сохранением основного свойства ЛВС – высокой скорости.

ЛВС охватывают нижние три уровня модели ВОС/МОС. Рассмотрим как и с помощью каких аппаратных средств они реализуются.

Физический уровень связан с передачей бит нулей и единиц между узлами. Связи на физическом уровне могут описываться в терминах “передача - прием” (симплексная, полу- и дуплексная), а по своему характеру могут быть отнесены либо к последовательным, либо к параллельным (рис.3.1).

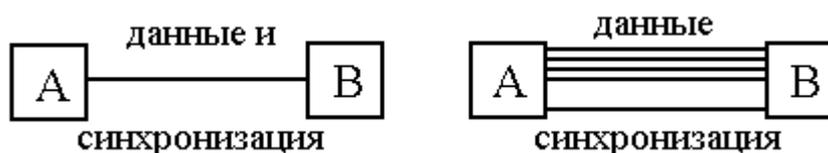


Рис.3.1. Последовательный и параллельный интерфейс

Параллельный интерфейс – более скоростной, но из-за различных условий прохождения сигнала по конкретным физическим проводам нельзя гарантировать одновременный приход сигналов в В при одновременной их отправке из А. Такое рассогласование возрастает с длиной пути прохождения сигналов. Поэтому параллельный интерфейс ограничивается по длине. В IBM, например, не более 120 м (400 футов), а кабель к принтеру – вообще 1,5 м.

При последовательной схеме сигналы следуют один за другим, что ограничивает скорость, но не расстояние. Рассогласования данных нет, но зато есть проблема синхронизации работы передатчика и приемника. Значит, в последовательной передаче информация о синхронизации должна быть “спрятана” среди данных.

При любой организации сопряжения узлов основой является среда передачи. Чаще всего это проводная среда в виде электрического или

оптоволоконного кабеля. Не углубляясь в физические аспекты разных сред (это будет сделано позже), отметим, что существует целая технология по проводке кабеля внутри одного здания или группы зданий. Крупные компании (например, АТ&Т) предлагают продукт, который так и называется – Структурированная Кабельная Система (СКС). Для тщательно спроектированной и построенной структурированной сети гарантируется, что в течение длительного периода (до 15-20 лет) даже появление новых технологий не потребует серьезных дорогостоящих изменений в кабельной системе.

СКС представляет собой иерархическую кабельную систему здания или группы зданий, разделенную на структурные подсистемы. Она состоит из набора медных и оптических кабелей, кросс-панелей, кабельных разъемов, информационных розеток и вспомогательного оборудования. СКС эксплуатируется по определенным правилам и обеспечивает подключение локальной АТС, одновременную работу компьютерной и телефонной сети, охранно-пожарной сигнализации, управление инженерными системами зданий и сооружений. И все это с использованием общей среды передачи. Проектирование СКС регламентировано стандартом США EIA/TIA - 568А 1991 г. (новая редакция – в 1995 г.).

На физическом уровне обычно применяется один из четырех типов среды передачи: кабель “витая пара” (или симметричный кабель), коаксиальный кабель, оптоволоконный кабель, окружающее пространство. Каждая из этих сред отличается друг от друга необходимым для ее использования оборудованием, пропускной способностью, помехозащищенностью и многими другими параметрами. В частности, вот как соотносятся границы пропускных способностей разных кабельных сред (рис.3.2):



Рис. 3.2. Полосы пропускания различных кабелей

В качестве физического интерфейса между компьютером и сетевым кабелем выступает устройство, называемое сетевым адаптером (СА). Это плата (карта, слот) расширения, имеющая разъем для установки на материнской плате РС и специальный разъем, выводимый на заднюю панель РС, для подключения сетевого кабеля.

При помощи сетевого адаптера осуществляются:

- преобразование данных, поступающих от РС, для их передачи по сетевому кабелю и обратное преобразование;

- пересылка данных другому РС в сети;
- управление потоком данных между РС и кабельной системой.

Плата сетевого адаптера состоит из аппаратной части и встроенных программ, записанных в ПЗУ. Эти программы реализуют функции канального уровня модели ВОС/МОС. В частности, протокол управления доступом к среде передачи данных МАС (Media Access Control). Это означает, что любой адаптер ЛВС подходит только для одного вида ЛВС: адаптеры Ethernet и Token Ring не взаимозаменяемы.

В состав аппаратной части адаптера должна входить и память для использования в качестве буфера. Это необходимо при передаче на время получения доступа к сети и при приеме для проверки правильности принятой серии сигналов, например, вычисления контрольной суммы и сравнения со значением, присланным в трейлере. В общем, этот адаптер – целый контроллер.

СА принимает данные по внутренней шине компьютера - это параллельная связь, и организует их для последовательной побитовой передачи в сеть. Конечной фазой этого процесса является перевод цифры РС в электрический (или оптический) сигнал, пересылаемый по сетевым кабелям. Этот приемо-передатчик (преобразование осуществляется в обоих направлениях) называется трансивером.

Но вот СА получил из РС набор данных. Что происходит дальше? Перед пересылкой данных СА проводит электронный диалог с принимающим СА, во время которого достигаются соглашения о размере блока данных, об интервалах между передачей блоков, о скорости передачи, о времени ожидания подтверждения правильности приема. Уже после выполнения подстройки друг к другу, например, по скорости (а это элемент управления потоком данных), к данным добавляются адреса отправителя и получателя, и все вместе посылается в кабельную сеть, если она свободна. При отправке в сеть вычисляется контрольное число, которое добавляется в качестве трейлера.

На приемной стороне СА читает передачу, пока не считает полностью адрес получателя. Если он совпадает со своим уникальным номером, присвоенным фирмой - производителем, чтение продолжается с одновременным определением контрольного числа. В случае совпадения вычисленного контрольного числа с содержанием трейлера данные пересылаются в принимающий РС, в противном случае – отбрасываются. По соглашению посылается или не посылается сигнал – квитанция СА отправителя.

Графически канал может быть изображен так (рис.3.3):

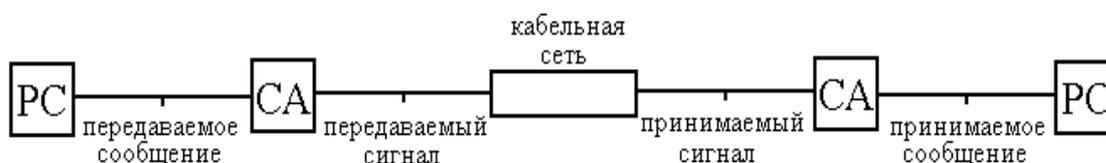


Рис. 3.3. Канал (линия) связи

Одной из классических проблем производительности ЛВС является рост задержек и частоты возникновения конфликтов (коллизий) с увеличением числа абонентских пунктов, подключенных к сетевому кабелю. Как бороться со снижением скорости обмена? Можно использовать более скоростные кабели или можно снизить количество абонентских пунктов, имеющих доступ к разделяемой среде. Второй вариант называется сегментацией.

Пусть большая сеть разделена на много сегментов. А как абонентам одного сегмента использовать ресурс абонента другого сегмента? Значит, необходимо специальное устройство для межсегментного обмена, но с высокой скоростью. И таким устройством является мост.

Аналогично повторителям – усилителям мощности с помощью мостов можно увеличить число абонентов сети (выполнять передачу на большее расстояние). Но имеются и существенные отличия. Во-первых, повторители транслируют через себя все сообщения, а мосты – только те, которые направлены в другой сегмент. Отбраковка осуществляется по адресам отправителя и получателя (в памяти моста есть списки адресов абонентов соединяемых сегментов). Во-вторых, сегменты, соединенные повторителем, образуют свою среду, где меньше абонентов и меньше возникает конфликтов. Значит, мост обеспечивает преимущества как с точки зрения расширения сети, так и обеспечения большей полосы (больше пространства) для каждого абонента. Это особенно актуально в связи с переходом в Ethernet от шинной топологии к “Звезде” в технологии 10 Base-T с использованием дешевого кабеля с неэкранированной витой парой вместо коаксиального кабеля, но в радиусе не более 100 м от центрального узла. Схематично использование моста показано на (рис.3.4):

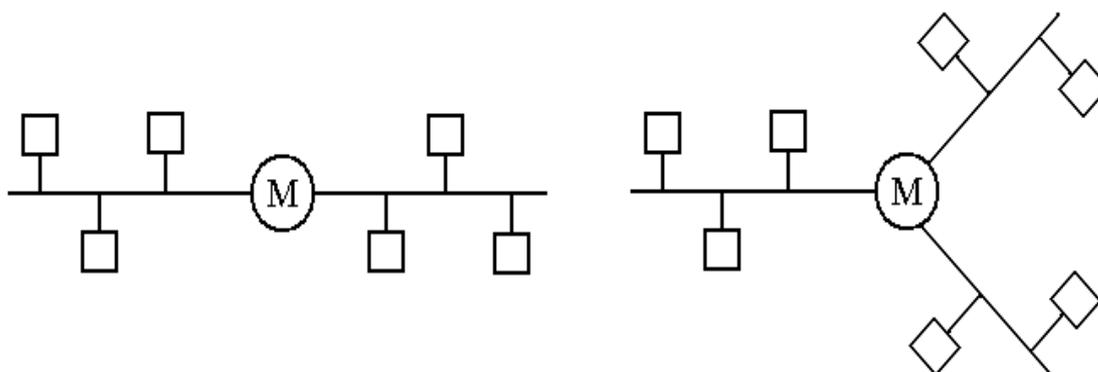


Рис.3.4. Варианты использования моста

Мост, аналогично СА, – устройство с промежуточным хранением, значит, создает задержку. Еще один способ борьбы за скорость обмена между большим количеством узлов локальной сети – применение высокоскоростных коммутаторов.

Коммутатор ЛВС демонстрирует подход, основанный на функции моста, но в его предельном варианте (один сегмент – один порт). Коммутатор выделяет каждому подключенному к нему сегменту его собственное Ethernet-соединение. Его часто называют “выделенный Ethernet для каждого рабочего места”.

Что значит соединиться по телефону через коммутатор, известно по литературе и фильмам начала XX в. “Барышня, соедините меня...”. Аналогичные наборные доски использовались до 70-х гг. XX века, например, для набора программы в машине ЭВ-80. Производились эти доски в г. Паневежис, Литва. Основное неудобство такой коммутации – невозможность установления другого соединения, пока линия занята первым (рис. 3.5).

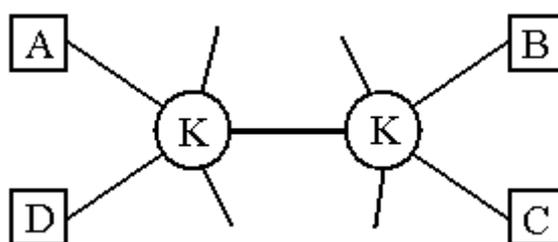


Рис. 3.5. Физическая связь коммутаторов

Идея работы коммутатора пакетов очень проста: он принимает посылаемые любой точкой доступа (сетевым адаптером), подключенной к коммутатору, пакеты данных и направляет их только на тот свой выход, к которому подключена точка доступа получателя того или иного пакета. Для этого каждый отправляемый пакет содержит уникальный, так называемый MAC-адрес получателя. Впрочем, сами MAC-адреса могут быть не только индивидуальными, но также групповыми и широковещательными. В последнем случае это означает «сообщение для всех».

Коммутаторы отличаются технологией коммутации и способом использования таблицы MAC-адресов. Одна технология – запомнить и переслать (Store-End-Forward), - предусматривает запоминание всего пакета, оценку его правильного принятия на участке отправитель-коммутатор, например, по контрольной сумме, и по ее результату либо передать пакет по назначению либо отбросить его. В любом случае коммутатор «гарантирует» задержку передачи. Другая технология - гнать насквозь (Cut-Trough), - не занимается оценкой качества принятого пакета, а распознает лишь заголовок с MAC-адресами отправителя и получателя и немедленно коммутирует и передает пакет в назначенный адрес в том виде, в каком был принят. Преимущества и недостатки каждой из технологий очевидны. Поэтому первая технология применяется повсеместно, а вторая – в линиях с заведомо большим трафиком.

Пока говорят А и В, С не может соединиться с D, хотя они оба не заняты. Да и сами коммутаторы были “не умными” при осуществлении

коммутации каналов - физических линий связи. Современные коммутаторы намного “умнее” и коммутируют даже части сообщений – пакеты.

Скорость пропускания через себя потока данных – основное требование к коммутаторам. Задержка в них соизмерима со временем прохождения сигнала по короткому проводнику. Это стало возможным благодаря тому, что коммутатор может перенаправлять пакет без промежуточного хранения. Достаточно прочитать идущий первым адрес назначения. Для этого требуется не более 4,8 мкс. Если сравнить с задержкой моста, то для контроля короткого пакета длиной 3 Кбайт необходимо 1,2 мкс, а за это время на той же скорости 10 Мбит/с сигнал преодолеет 363 км. Задержка коммутатора без промежуточного хранения “отпускает” сигнал лишь на 146 м!

Однако если в передаче обнаружатся ошибки, то это будет означать пустую трату ресурса канала связи. Именно поэтому мост отбросит такой пакет. Но коммутатор без буферизации не сможет этого сделать. В дискуссии о структуре коммутаторов были сторонники буферизации и противники. В результате появился новый класс устройств, поддерживающий оба режима, причем с адаптацией. Это означает, что сначала действует режим без буферизации. При частом повторении ошибочных передач коммутатор автоматически переключается в режим с буферизацией. При снижении частоты ошибочных передач выполняется обратный переход. Следует отметить, что при работе в любом режиме коммутатор ЛВС вынужден применить промежуточное хранение (буферизацию), если порт, в который требуется передать пакет, в данный момент используется. Коммутаторы ЛВС вообще чувствительны к перегрузкам. Это особенно проявляется в том случае, если множество абонентов осуществляют доступ к одному и тому же целевому устройству. В таком положении могут оказаться и сервер с базами данных и принтер.

С такими ситуациями можно бороться по-разному. Например, комплектовать коммутатор портами с разной скоростью передачи данных или наращивать емкость буфера (но до каких пределов и как распределять память между портами?). Можно имитировать коллизию, при которой передающий адаптер замолкает на некоторое время. Часто этого времени достаточно для освобождения части буфера. Кстати, аналогичный прием применяется для защиты брони танков от снарядов кумулятивного действия и для активной защиты ракет. Такая “интеллектуализация” коммутатора, связанная с исполнением функции по организации и обслуживанию очередей, и делает его устройством третьего, сетевого уровня модели ВОС/МОС.

Следует упомянуть еще об одном способе увеличения трафика в каналах связи. Имеется в виду мультиплексирование. Оно позволяет объединить много потоков данных или каналов для передачи по общей физической

среде, т. е. одновременно передавать несколько независимых сигналов, которые комбинируются в устройстве, называемом мультиплексор.

Для обеспечения целостности каждого сигнала в канале сигналы могут разделяться посредством пространственного разделения каналов, частотным разделением каналов и мультиплексирования с разделением времени. Первый способ – механический. Можно проложить кабель с 24 парами и говорить по каждой паре отдельно, даже между собою.

Во втором - полоса пропускания среды выходного канала делится на подканалы с более узкой полосой пропускания (лучше не только без пересечений, но и с “мертвой” зоной), которые закрепляются за одним или несколькими входными каналами (рис.3.6).

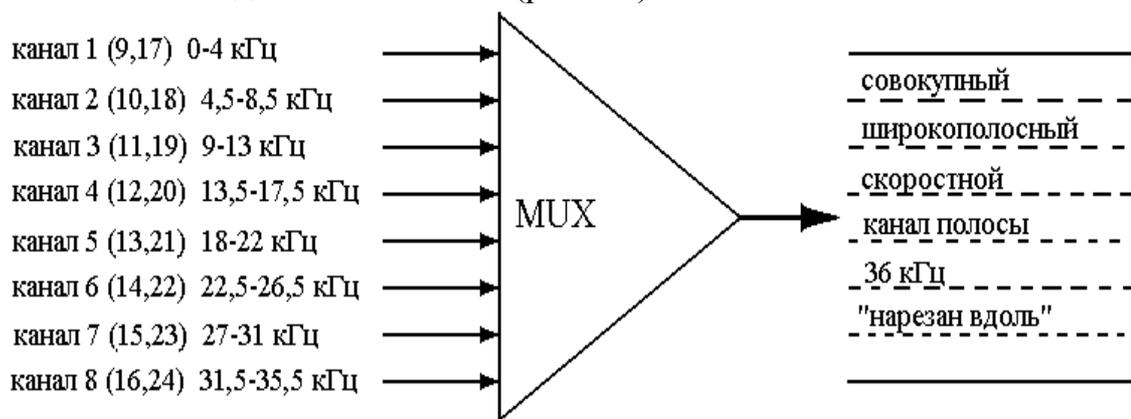


Рис.3.6. Схема частотного мультиплексирования (уплотнения)

Частотное мультиплексирование FDM (Frequency Division Multiplexing) применяется для аналоговых сигналов.

При цифровой передаче каждый прямоугольный импульс содержит бесконечное число частот - гармоник. Поэтому нужна вся ширина полосы пропускания широкополосного канала. Тогда можно “нарезать широкополосный канал поперек” и за каждым низкоскоростным каналом закрепить свой интервал времени. Получится мультиплексирование с разделением времени TDM (Time Division Multiplexing), схема которого изображена на рис.3.7.

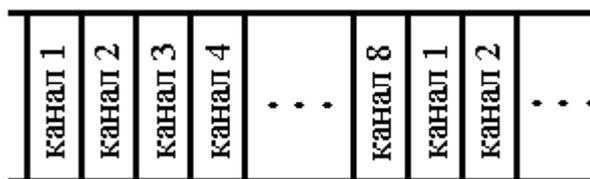


Рис.3.7. Схема уплотнения с разделением времени

Эти две технологии могут быть объединены: низкоскоростные каналы сначала мультиплексируются с разделением времени (например, 1,9,17; 2,10, 18...), а затем применяется частотное мультиплексирование. Именно применение мультиплексоров и позволяет выполнять на базе одной сети

так много функций – АТС, технологии, управление предприятием, охрана...

Вопросы для самопроверки:

1. Чем ограничивается длина параллельного интерфейса?
2. Почему целесообразно следовать стандарту Структурированной Кабельной Системы?
3. Что мешает применить сетевую карту (сетевой адаптер) одной ЛВС для работы в другой? Например, Ethernet в Token Ring?
4. О чем “договариваются” два сетевых адаптера перед обменом данными?
5. Назовите способы поддержания высокой скорости обмена в ЛВС при увеличении числа узлов.
6. Укажите пути повышения пропускной способности коммутатора и способы защиты от переполнений буфера.
7. Назовите средства увеличения трафика в каналах связи.
8. Что объединяет или отличает сетевые адаптеры, работающие на мультиплексоры с частотным уплотнением и мультиплексоры с разделением времени?
9. Устройством какого уровня модели ВОС/МОС является мультиплексор?
10. Какое явление городской жизни похоже на TDM?

ТЕМА 4. ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ В КАНАЛАХ СВЯЗИ

Как уже отмечалось, любая линия связи структурно может быть представлена в таком виде (рис.4.1):

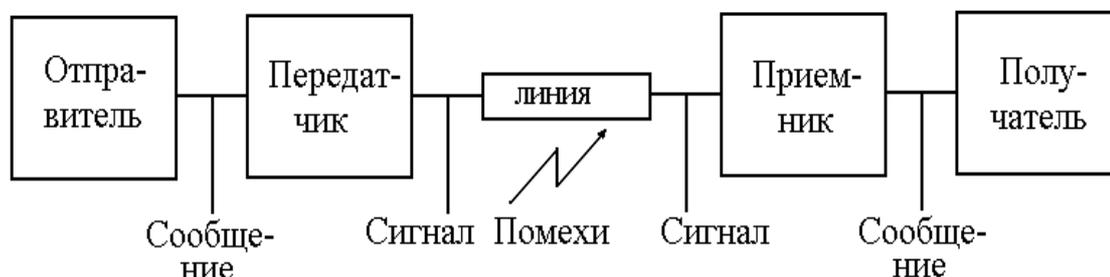


Рис.4.1. Структура линии связи

В зависимости от того, какие сигналы передаются по каналу связи, различают аналоговые и цифровые каналы. В аналоговых каналах передатчик осуществляет согласование отправителя с каналом, т.е. преобразует непрерывное или дискретное сообщение в непрерывный сигнал (этим непосредственно занимается трансивер) с такими характеристиками, которые обеспечивают прохождение сигнала по каналу связи – несущая заданной полосы, генератор светового пучка. В этих каналах для наполнения сигнала информацией применяется модуляция различного вида, так как чистая несущая не содержит информации.

В цифровых каналах циркулируют дискретные сигналы, а для передачи данных и аналоговых сигналов используются самосинхронизирующиеся коды и кодово-импульсная модуляция, соответственно.

Рассмотрим основные типы модуляции, начиная с аналоговых каналов и сигналов. Сигнал в виде электромагнитных колебаний описывается как

$$S = A \sin(\omega t + \varphi_0).$$

В качестве параметров для вариации при модуляции могут использоваться амплитуда A , частота ω , начальная фаза φ_0 или их комбинации.

Амплитудная модуляция (рис. 4.2).

Сигнал несущей частоты изменяется по мощности или амплитуде. Амплитудная модуляция широко применялась в воспроизведении звука и радиовещании. В чистом виде в системах передачи данных не используется.

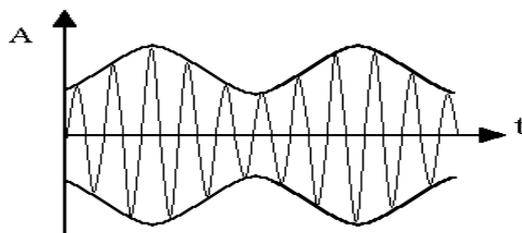


Рис. 4.2. Амплитудная модуляция

Частотная модуляция (рис. 4.3).

Изменяется частота несущей, при которой логическому “0” и логической “1” соответствуют разные и легко различаемые частоты.

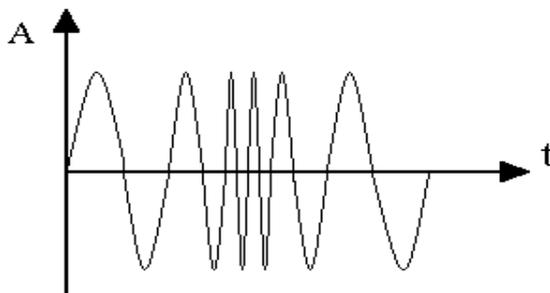


Рис.4.3. Частотная модуляция

Этот метод широко применяется в оконечных устройствах канала - модемах. Название есть сокращение содержания основных функций устройства – модуляции и демодуляции.

Модуляция выполняется устройством при направлении сигнала в канал, а демодуляция - при приеме из канала. Модемы используются для подключения цифровых устройств к линии передачи аналоговых сигналов, например, к телефонной линии. Большинство модемов разрабатывается применительно к международным и специфическим национальным стандартам таким образом, чтобы оборудование систем связи одного производителя могло взаимодействовать с оборудованием другого производителя. Вот почему есть модемы, работающие на разных скоростях и по разным протоколам.

Фазовая модуляция (рис.4.4).

Ее содержание – изменение фазы волны сигнала несущей частоты. Логическая “1” кодируется изменением фазы сигнала, например, на 180° ; логический “0” – сохранением фазы от предыдущего тактового интервала. Чем больше градаций изменения фазы (например, 45° , 90° , 135° , $180^\circ \dots$), тем труднее их распознать при демодуляции (детектировании). Поэтому фазовая модуляция часто сочетается с амплитудной. Например, квадратурно-амплитудная модуляция. И это весьма продуктивно:

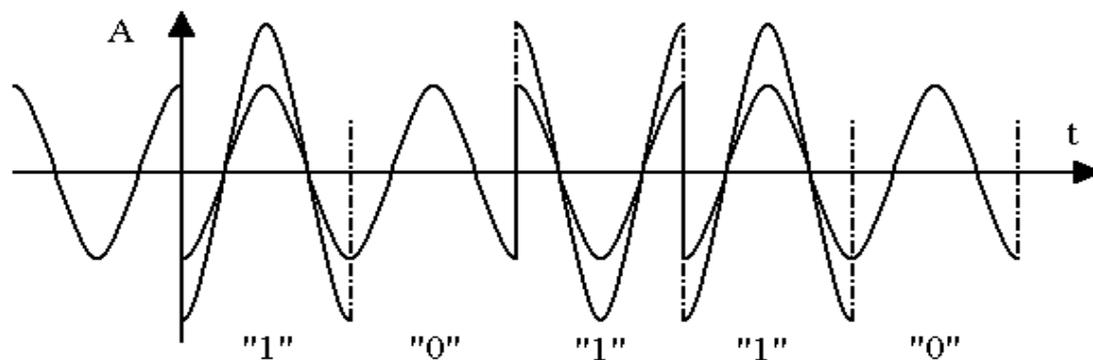


Рис.4.4. Применение фазовой модуляции

Спектральная модуляция.

В этом варианте волна несущей частоты модулируется по частоте аналоговым или цифровым сигналом в сочетании с третьим, кодовым сигналом. Применяется этот тип модуляции в военной технике, в радиосетях с пакетной коммутацией. Кодовый сигнал позволяет отстроиться от другого передатчика, работающего одновременно на той же частоте.

Импульсно-кодовая модуляция.

В этом способе модуляции аналоговый сигнал кодируется сериями импульсов в дискретном потоке. Эта модуляция является основным видом преобразования аналогового сигнала в цифровой и обратно (при модуляции), осуществляемого устройствами АЦП и ЦАП.

При импульсно-кодовой модуляции (ИКМ) осуществляется дискретизация передаваемого сигнала во времени. Сформированные при дискретизации отсчеты преобразуются в группы кодовых сигналов. В каждой группе содержится одинаковое число символов, каждый символ – разряд в группе. Если каждый символ группы может принимать любое из r значений $\{1, 2, 3, \dots, r-1, 0\}$, а кодовая группа содержит n символов (разрядов), то можно сформировать r^n различных кодовых групп, где r – основание кода, n – число разрядов. На практике $r = 2$, а разрядность определяется диапазоном двоичных чисел.

Аналоговые сигналы на входе цифровой системы передачи непрерывно принимают произвольные значения в пределах заданного (известного) амплитудного диапазона. Используя n -разрядные кодовые группы, можно зафиксировать и передать информацию не более, чем о r^n различных значениях сигнала. Поэтому дискретный сигнал должен быть квантован по уровню для передачи, а затем только значение этого уровня может быть передано в виде кода. Таким образом, при ИКМ осуществляются три вида преобразований: дискретизация во времени исходного сигнала, квантование амплитуд дискретных отсчетов и кодирование, т.е. собственно формирование кодовых групп. Структура ИКМ представляется так (рис. 4.5):

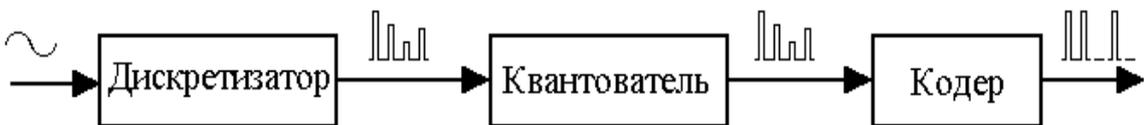


Рис.4.5. Технологические операции в ИКМ

Временная диаграмма первого этапа очень походит на прямоугольную аппроксимацию площади под кривой при определении интеграла. Интервал дискретизации устанавливается по критерию Найквиста. При полосе пропускания канала w частота дискретизации $\nu \geq 2w$ гарантирует сохранение всей информации, содержащейся в аналоговом сигнале. Диаграмма всех этапов кодирования – на рис. 4.6.

Закон, устанавливающий соответствие между величиной уровня квантования (или, что то же, его номером) и структурой кодовой группы, называется кодом. Код может быть задан как аналитически, так и в виде кодовой таблицы. Наибольшее распространение получили равномерные двоичные коды. В них каждая кодовая группа состоит из постоянного числа кодовых символов, каждый из которых может принимать значение “0” (пробел) или “1” (импульс).

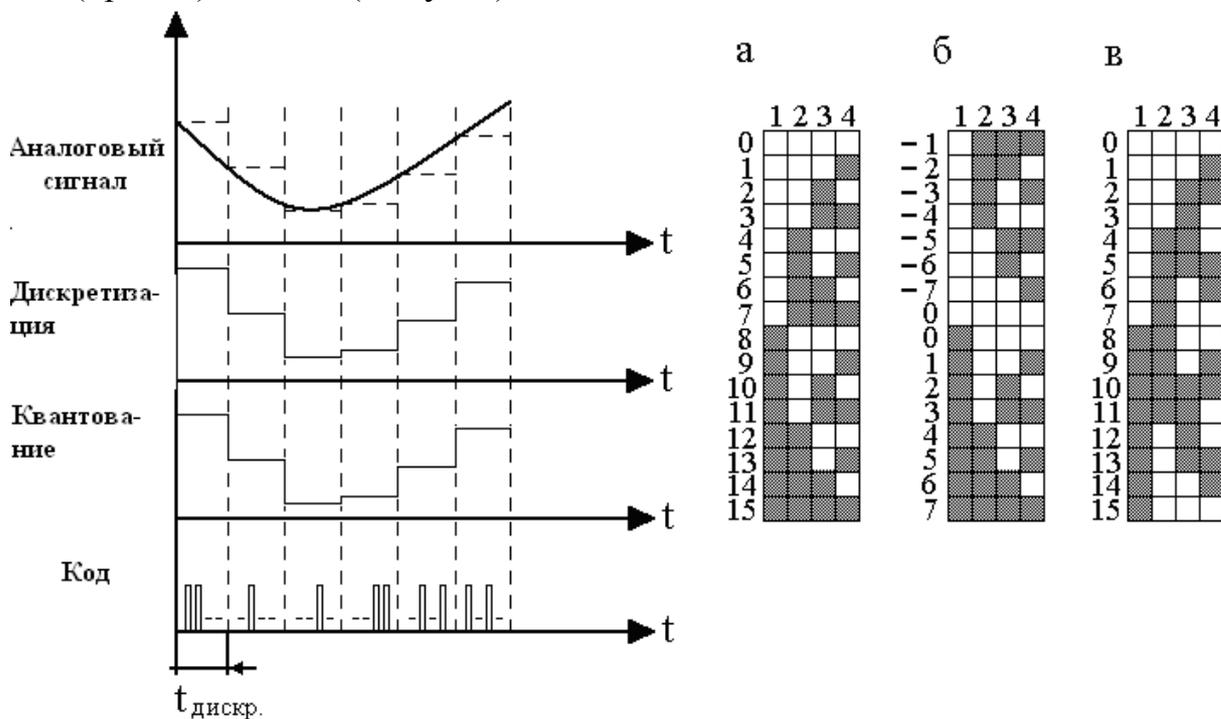


Рис. 4.6. Этапы ИКМ

В натуральном двоичном коде группы соответствуют двоичной записи номера уровня квантования. Кодовая таблица имеет вид **а**.

В натуральном двоичном коде кодовые группы, соответствующие соседним уровням квантования, могут различаться в большом числе разрядов. Особенно велико это различие в центре амплитудного диапазона. Например, при переходе от 7-го к 8-му уровню квантования изменяются все символы кодовой группы. Колебания величины отсчета (дискретизации) во время кодирования могут вызывать переход от одного уровня квантования к другому. При этом могут возникать ошибки кодирования.

При передаче двуполярных аналоговых сигналов типа речевых преобразование в центре амплитудного диапазона должно выполняться с наибольшей точностью. Поэтому при кодировании таких сигналов используются симметричные двоичные коды, в которых символ старшего разряда кодовой группы определяется полярностью передаваемого отсчета, а символы остальных разрядов определяют величину отсчета как показано на кодовой таблице **б**. Здесь при кодировании малых значений сигнала используются лишь младшие разряды кода, что снижает ошибки

преобразования в центральной зоне размаха амплитуды, так как соотношение между “весами” младших разрядов кода могут поддерживаться с большей точностью, нежели соотношения между “весами” всех разрядов кодовой группы. При использовании кода, соответствующего табл. б, входные сигналы или шумы, величина которых меньше половины шага квантования, не передаются на выход кодера – мертвая зона.

В цифровых системах передачи широкополосных сигналов используется рефлексный двоичный код – код Грея, представленный таблицей в. В этом коде группы, соответствующие соседним уровням, во всем диапазоне изменения отличаются лишь одним разрядом. Использование кода Грея позволяет значительно снизить искажения из-за ошибок кодирования, которые моментально выявляются. Достаточно, чтобы соседние уровни отличались более, чем в одном разряде.

Дифференциальная ИКМ.

В этом варианте передаче подлежит не сам квантовый сигнал, а только приращение к предыдущему значению. И здесь уже при малых временах дискретизации особенно важна точность передачи именно малых приращений. Для кодирования приращения используется вся разрядная сетка.

Существует и вариация дифференциальной модуляции – дельта-модуляция, при которой для кодирования каждого дискретного значения сигнала (приращения) используется единственный бит, отражающий единичное изменение значения сигнала в ту или другую сторону.

На этом рассмотрение кодирования аналоговых сигналов закончим.

При цифровом кодировании дискретной информации применяются потенциальные и импульсные коды. В первом случае логические состояния определяются значением потенциала, а его перепады не учитываются. Импульсные же коды позволяют представить двоичные цифры либо импульсами определенной полярности, либо фронтом импульса – перепадом потенциала в определенном направлении.

К способу кодирования предъявляются требования, носящие противоречивый характер: минимизация спектра результирующего сигнала при отсутствии постоянной составляющей (тока между передатчиком и приемником) для повышения скорости передачи данных; получение самосинхронизирующегося кода для синхронизации работы передатчика и приемника (например, фронт или резкое изменение амплитуды несущей); способность распознавать ошибки передачи; низкая стоимость реализации. Обычно исправлением ошибок занимается канальный уровень, но если ошибка будет обнаружена на физическом уровне, то ошибочный пакет (кадр) заблокируется моментально, не дожидаясь помещения его в буфер памяти полностью.

Рассмотрим популярные методы цифрового кодирования, каждый из которых обладает своими преимуществами и недостатками (рис.4.7).

Диаграмма а – метод потенциального кодирования без возврата к нулю (NRZ).

Метод прост в реализации, позволяет хорошо распознать ошибки, но не обладает самосинхронизацией. При передаче длинной последовательности одинаковых цифр сигнал в среде передачи не меняется, что не позволяет приемнику определить моменты времени для считывания данных по входному сигналу.

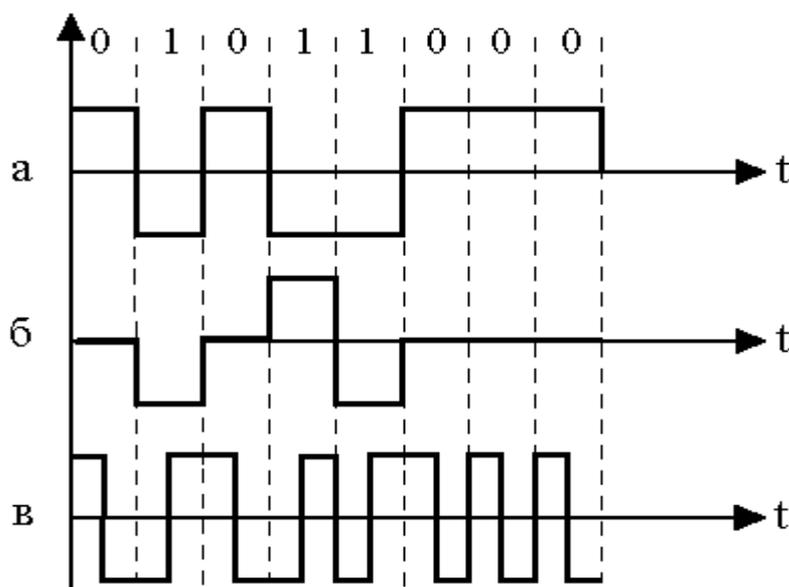


Рис.4.7. Методы цифрового кодирования

В сетях применяют модификации этого кода, устраняющие отсутствие синхронизации. Одной из них является метод биполярного кодирования, с альтернативной инверсией (RZ) – диаграмма б. Для синхронизации может использоваться перепад в последовательности “единиц”. Однако длинные последовательности “нулей” чреваты утратой синхронизации. Кроме того, в этом методе используются три уровня сигнала на линии, а это требует увеличения мощности передатчика. Последнее неудобство характерно для всех кодов с числом состояний сигнала больше двух.

В локальных сетях до недавнего времени самым распространенным методом кодирования был так называемый манчестерский код (диаграмма в). Его применяют в сетях Ethernet и Token Ring. Для кодирования “нулей” в манчестерском коде используется перепад сверху вниз в середине такта, а для кодирования “единиц” – снизу вверх, т. е. отрицательный и положительный фронты, соответственно. Манчестерский код отличается хорошей самосинхронизацией (1 раз за 1 такт), нет проблем с передачей длинных последовательностей “нулей” или “единиц”.

В последующих стандартах Ethernet (начиная с Fast Ethernet) для улучшения потенциальных кодов применяется так называемый избыточный код. Формирование избыточного кода сводится к разбиению

исходной последовательности битов на группы, например, по 4 бита (4В) или 8 битов (8В), и замене этих групп на другие с большим числом битов. Передача выполняется группами с увеличенным числом битов. Так формируются логические коды, например, 4В/5В и 8В/9В. Поскольку передаваемые группы содержат избыточные биты, то общее количество битовых комбинаций в них больше, чем в исходных. Так, в коде 4В/5В передаваемые группы могут содержать 32 битовых комбинации, в то время как на самом деле передать надо лишь 16 битовых комбинаций. Это позволяет исключить неподходящие комбинации, например, с большим числом нулей. Что останется после одного варианта такого исключения, показано в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Соответствие исходных и передаваемых кодов 4В/5В

Исходный код	Передаваемый код	Исходный код	Передаваемый код
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

Собственно передача выполняется с помощью простого метода потенциального кодирования (даже при его чувствительности к длинным последовательностям нулей, так как код 4В/5В гарантирует отсутствие более трех нулей подряд).

Отдельного рассмотрения заслуживают способы повышения эффективности использования канала.

При кодировании и декодировании могут появиться ошибки. Возможны три причины их возникновения: ошибки кодирования (мы уже отмечали на с.32), шум в линии передачи и ошибка самого декодера, которая может появиться, например, в результате неудачной попытки исправления принятого кода, содержащего ошибку. Сумма этих видов ошибок называется канальной ошибкой. Применение цифрового кодирования, имеющего алгоритмический характер (в отличие от кодирования при тайнописи или телеграфного кода Морзе), существенно снижает вероятность появления канальной ошибки. Объясняется это тем, что цифровой сигнал может быть передан с большей скоростью и допускает уплотнение, что повышает коэффициент использования среды передачи. Кодеры телефонных систем (а сейчас практически вся телефонная сеть стала цифровой) работают со скоростью 8000 отсчетов в секунду, что вполне достаточно для аналоговых речевых сигналов полосы 4 кГц.

Кроме того, кодеры на выходе могут добавлять в канал свои сигналы для образования кодов с исправлением ошибок при декодировании. Это хорошо работает даже при использовании зашумленных каналов связи, например, спутниковых.

Повышение эффективности использования канала достигается разными способами, в частности, уже упоминавшимся на с. 27 частотным уплотнением. Согласно этому способу отведенная каналу связи полоса частот делится на логические каналы для одновременной передачи ряда сообщений. Частотное уплотнение широко применяется для объединения речевых телефонных сигналов. При ширине каждого логического канала 4000 Гц для сигнала отводится 3000 Гц, а остаток делится на две защитные полосы по 500 Гц сверху и снизу. Спектр каждого сигнала содержит все частоты, начиная с нулевой, однако все сигналы накладываются на разные несущие частоты и поэтому в частотной области не перекрываются. Но несмотря на наличие защитных полос (а от сигнала до сигнала не 500, а 1000 Гц), спектральные компоненты достаточного уровня из одного сигнала могут попадать в полосу соседнего сигнала, вызывая в нем помехи.

Другой способ повышения эффективности использования канала связи – временное уплотнение, мультиплексирование. Этот метод деления канала передачи между несколькими источниками посредством закрепления за каждым из них определенного временного окна (интервала). Применяется как синхронное, так и асинхронное временное мультиплексирование. При синхронном временном уплотнении в любой момент времени принимающее устройство “знает”, от какого передатчика может идти посыл. Для идентификации передающего устройства при наступлении его временного окна применяются опрос и синхронизация. В процессе опроса центральное устройство опрашивает каждый передатчик при начале его временного окна, имеет ли он что передавать. Если нет – переходит к следующему передатчику, ждет наступления следующего окна, если есть – организует передачу. При синхронизации каждое передающее устройство генерирует синхроимпульс и предваряет передачу последовательностью сигналов, известной всем приемникам. В этом случае окно также может оказаться пустым.

Более сложные реализации режима синхронизации предусматривают резервирование временного окна в будущем цикле или занятие свободных окон.

При асинхронном временном уплотнении каждый передатчик отправляет сообщение по мере готовности, но сообщение снабжается “обратным адресом” для идентификации отправителя. Здесь возможны конфликтные ситуации. Для их разрешения применяются протоколы управления передачей данных.

Временное мультиплексирование и частотное уплотнение применяются в сетях передачи данных с широкополосной передачей (коаксиальный кабель может иметь полосу частот 300 МГц) и в сетях передачи данных в

полосе модулирующих частот без несущей, например, в Ethernet и в большинстве учреждений сетей.

Вопросы для самопроверки:

1. Какие виды преобразования аналоговых сигналов для передачи по каналу связи получили широкое применение?
2. Зачем нужно квантование при ИКМ?
3. К чему приведет кодирование не в двоичной системе, а в троичной?
4. Каково главное преимущество кода Грея перед натуральным двоичным и симметричным двоичным кодами?
5. Чем лучше манчестерский код по сравнению с потенциальным кодированием без возврата к нулю и чем хуже?
6. Из чего складывается канальная ошибка?
7. Какими способами повышается эффективность использования канала?
8. В чем сходство и отличие вариантов временного уплотнения?
9. Как изменится число битовых комбинаций при формировании логического кода 7В/9В? А-8В/10В?

ТЕМА 5. ФИЗИЧЕСКИЕ СРЕДЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

На физическом уровне обычно применяется один из следующих четырех типов среды передачи:

- кабель “витая пара” (симметричный кабель);
- коаксиальный кабель (тонкий или толстый);
- оптоволоконный кабель;
- окружающее пространство.

Каждая из этих сред отличается друг от друга необходимым оборудованием, пропускной способностью, помехоустойчивостью, максимальной протяженностью, сложностью установки, собственником инфраструктуры и многими другими параметрами. Характеристики сред будем рассматривать со следующих основных четырех точек зрения: пропускной способности, помехоустойчивости, сложности установки, популярности среди пользователей. Общее впечатление с этих позиций дает табл.5.1.

Таблица 5.1

Сравнительные характеристики сред передачи данных

Среда передачи	Пропускная способность	Помехозащищенность	Сложность установки	Популярность
“Витая пара”	Низкая	Плохая	Просто	Высокая
Коаксиал	Высокая	Хорошая	Сложно	Слабая
Оптоволокно	Неограниченная	Превосходная	Упрощается	Растущая
Беспроводная	Растущая	Плохая	Никакой	Растущая

Пропускная способность – это область (спектр) частот гармонических колебаний, пропускаемых средой передачи, т. е. полоса пропускания. Полоса пропускания измеряется в герцах, а скорость передачи – в битах в секунду. Ширина полосы пропускания среды должна быть достаточной для прохождения существенных амплитуд частотного спектра сигналов. При повышении спектра полосы пропускания, например, за счет возросшей частоты сигналов, среда может не успевать изменять свое энергетическое состояние, что и приведет к искажению сигналов. Мы уже отмечали границы полосы пропускания кабельных сред (см. рис.3.2). Расширим эту схему использованием окружающего пространства различными владельцами, как показано на рис.5.1.

Скорость пропускания зависит не только от ширины полосы, но и от способов модуляции и кодирования. Например, передача последовательности одинаковых цифр манчестерским кодом идет на частоте вдвое большей, чем потенциальным кодом без возвращения к нулю.

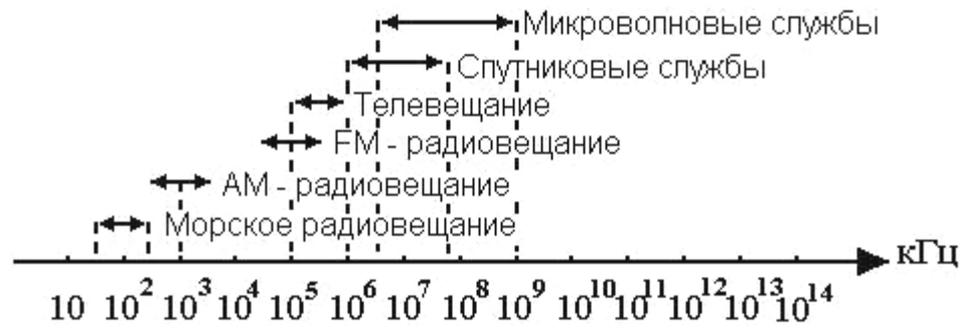


Рис. 5.1. Полосы пропускания, закрепленные за различными службами

С пропускной способностью связана такая характеристика, как способность к широкополосному вещанию. Эта способность определяется, в основном, конструкцией и материалом среды передачи. “Витая пара” – для двухточечной связи, коаксиал – для широкополосного вещания.

Помехозащищенность среды также зависит от конструкции. Она измеряется отношением мощности сигнала к мощности шума. Чем больше это отношение (измеряется в децибелах), тем выше помехоустойчивость. Качественные оценки этого параметра уже даны в табл. 5.1.

При распространении в среде сигнал любой частоты теряет свою мощность из-за рассеивания или излучения. Затухание сигнала определяет максимальную допустимую протяженность среды при фиксированных мощности передатчика и чувствительности приемника. Для увеличения протяженности обычно применяются усилители мощности, повторители, ретрансляторы.

Измеряется затухание в децибелах как отношение мощности сигнала в начале и в конце единицы длины среды передачи (обычно 1 км) на фиксированной частоте передачи.

Чем толще кабель, тем труднее его прокладывать (требуется больший радиус закругления). Но более толстые проводники обладают меньшим затуханием и допускают большую длину передачи без применения дополнительного оборудования.

Стоимость среды передачи - стоимость проектно-монтажных работ по строительству этой линии и затрат на ее эксплуатацию. Стоимость является определяющим фактором популярности применения той или иной среды.

Рассмотрим характеристики конкретных сред.

Кабель “витая пара” состоит из двух изолированных проводников, перевитых между собою. По определенной частоте витков, типу изоляции (бумага, шелк, поливинил) и некоторым другим параметрам кабель “витая пара” разделяется на несколько категорий. В целом, чем выше категория кабеля, тем больший объем информации по нему можно передать, тем меньше перекрестные наводки между проводниками (больше витков на 1 м погонный кабеля), тем он дороже. По сравнению с другими средами “витая

пара” обладает меньшей пропускной способностью и сравнительно низкой помехозащищенностью. Вместе с тем, кабель “витая пара” прост в установке и является безусловным лидером в реализации Физического уровня по популярности.

В соответствии со стандартом США EIA/TIA – 568А по проектированию и созданию Структурированных Кабельных Систем (СКС) допускается применение четырех типов кабелей. Наиболее популярным из них является кабель неэкранированный с витыми парами из медных проводников UTP (Unshielded Twisted Pair). Категории 3, 4, 5 этого кабеля поддерживают рабочие частоты 16, 20 и 100 МГц. Соответствие выпускаемых промышленностью кабелей предъявляемым требованиям устанавливается сертификатом. В США такого рода сертификацию проводит независимая организация UL по двум направлениям: по электробезопасности и по техническим характеристикам. Классификация кабелей различных фирм – производителей по уровням, соответствующая стандарту качества ISO 9002, приведена в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Классификация кабелей различных производителей

Рабочая полоса частот (скорость передачи)	Фирма – производитель			
	Anixter	UL	EIA/TIA	AT&T
Передача речи, данных (до 20 кбит/с)	Level 1	Level I	-	-
1 МГц (1 Мбит/с)	Level 2	Level II	-	-
16 МГц (16 Мбит/с)	Level 3	Level III	Category 3	Category III
20 МГц (20 Мбит/с)	Level 4	Level IV	Category 4	Category IV
100 МГц (100 Мбит/с) 155 МГц (155 Мбит/с)	Level 5	Level V	Category 5	Category V

Кабель “витая пара” категории 3 применяется в локальных низкоскоростных сетях со скоростью до 20 Мбит/с на расстоянии до 100 м. Кабель категории 5 также применяется на расстояниях 100-200 м, но со значительно более высокой скоростью передачи.

Коаксиальный кабель представляет собою центральный медный провод, окруженный слоем изолирующего материала (полиэтилена), который заключен внутри второго проводника в виде оплетки. Вся конструкция защищена от механических повреждений пластиковой оболочкой. По сравнению с “витой парой” коаксиал обладает значительно большей пропускной способностью и помехозащищенностью.

Выпускаются тонкий узкополосный и толстый широкополосный коаксиальные кабели. С помощью тонкого кабеля можно передавать информацию на расстояния до 10 км со скоростью до 50 Мбит/с. Толстый кабель имеет параметры 50 км и 300-500 Мбит/с, соответственно. Лучшие характеристики и стоят дороже. К недостаткам следует отнести большие по

сравнению с “витой парой” размеры и вес. Следствием этого является сложность монтажа и обслуживания, что и привело к снижению популярности использования в качестве среды физического уровня.

Оптоволоконный кабель конструктивно весьма прост, но требует профессионального монтажа. Он состоит из волокон диаметром от единиц до сотен микрон, окруженных твердым покрытием и помещенных в защитную оболочку. Ночной светильник, имитирующий салют, и есть пучок таких волокон без внешней общей оболочки. Вначале оптоволоконные кабели изготавливались из чистого кварцевого стекла, но сейчас уже разработаны технологии на основе пластмассы. Оболочка световода выполняет функцию зеркала для обеспечения эффекта полного внутреннего отражения. Источником распространяемого по кабелю света является светодиод, а на другом конце детектор преобразует световые колебания в электрические.

Внешние электромагнитные поля никак не искажают световые сигналы, поэтому оптоволоконный кабель хорошо защищен от помех. Диапазон пропускной способности у различных видов оптического волокна довольно широк. Однако даже нижней границы современные технологии передачи достигнуть не могут, так что есть неиспользуемый пока ресурс. В установке оптоволоконный кабель не сложен, но требует профессиональных приспособлений для сопряжения соседних отрезков кабеля и высокой квалификации исполнителей. Сочетание высоких свойств оптоволоконного кабеля даже при пока относительно высокой цене обусловило растущую популярность его использования.

Окружающее пространство – атмосфера, стратосфера, ближний космос – являет собой особый случай: здесь сама среда передачи обычно является общественным достоянием. Именно поэтому ее использование тщательно регулируется в пределах каждого географического региона государственными органами и международными соглашениями. В отличие от других сред передачи, которые при необходимости можно наращивать, окружающее пространство, по сути, ограничено. Если в эфире тесно, то можно только мешать друг другу. Степень помехоустойчивости окружающего пространства зависит от частоты. На низких частотах велики помехи от разрядов молний и электротранспорта, на высоких – от дождя, тумана, состояния ионосферы. Самая большая сложность при установке – получение лицензии на использование выделенной полосы частот. И все-таки популярность этого способа передачи растет. К началу XXI в. практически вся планета опутана сотами беспроводной связи.

И тем не менее, сегодня в локальных сетях различных топологий чаще применяются кабельные среды передачи данных. Сравнительные их характеристики представлены в табл. 5.3.

Таблица 5.3

Сравнительные характеристики кабельных сред передачи данных

Характеристика	Тип среды передачи			
	“витая пара”	коаксиал тонкий	коаксиал толстый	оптоволоконный кабель
Применение в сетях топологий	Кольцо, звезда, шина, дерево	Шина, дерево, реже - кольцо	Шина, дерево	Кольцо, звезда
Максим. число узлов сети	До 255	До 1024	2500 и более	От 2 до 8
Максим. длина, км	10 ÷ 25	10	50 ÷ 80	2 ÷ 10
Максим. пропускная способность (скорость) Мбит/с	1 ÷ 10	10 ÷ 50	До 500	500 на 10 км 1500 на 8 км до $5 \cdot 10^3$ на 5 км
Основные преимущества	Низкая стоимость, можно использовать существующие телефонные линии	Низкая цена, простота установки	Широкое вещание, высокая помехозащищенность	Смешанный трафик, абсолютная защита от шумов, защита от несанкционированного доступа
Основные недостатки	Узость полосы, слабая защита от помех и несанкционированного доступа. Необходима механическая защита, сложность поиска разрывов и заземлений	Стабильная работа при нагрузке до 40 %, требует защиты от механических повреждений и несанкционированного доступа	Повышенная цена и затраты на прокладку. Необходимы высокочастотные модемы для оконечных систем	Высокая цена, для установки необходим квалифицированный персонал. Коммерчески пока недоступен

Рассмотрим некоторые технические параметры передачи по кабельным линиям связи.

Локальные сети строятся, в основном, с использованием кабельных линий связи. Любая кабельная линия описывается следующими параметрами передачи: коэффициентом распространения сигнала $\gamma(i\omega)$ и волновым сопротивлением $Z_e(i\omega)$. По этим параметрам можно определить ток и напряжение в любой точке кабельной линии. Параметры передачи связаны с первичными параметрами линии – активным сопротивлением R , индуктивностью L , емкостью C и проводимостью изоляции G следующими соотношениями:

$$\gamma(i\omega) = \sqrt{(R + i\omega L)(G + i\omega C)};$$

$$Z_e(i\omega) = \sqrt{\frac{R + i\omega L}{G + i\omega C}}.$$

Сигналы, передаваемые по линиям, имеют широкий частотный спектр, поэтому учет частотной зависимости весьма актуален. Частотные зависимости сопротивления R и индуктивности L кабеля определяются в основном процессами перераспределения тока в токопроводящих жилах из-за поверхностного эффекта и эффекта близости (рис. 5.2).

Поверхностный эффект заключается в перераспределении тока в проводнике при взаимодействии основного тока с вихревыми токами, наведенными основным через внутреннее магнитное поле. В результате поверхностного эффекта возрастает плотность тока в поверхностных слоях проводника. Так, в медном проводнике на частоте 100 кГц толщина поверхностного слоя, в котором концентрируется ток, составляет 208 мкм, а на 1 МГц – 66 мкм. Таким образом, уже на частотах в несколько десятков килогерц толщина токопроводящего слоя много меньше диаметра проводника. Поверхностный эффект приводит к росту активного сопротивления и уменьшению индуктивности с ростом частоты.

Эффектом близости называется перераспределение тока из-за взаимодействия тока, протекающего по проводнику, с вихревыми токами, наводимыми внешним магнитным полем. При передаче сигнала по кабелю в двух проводниках, образующих замкнутую цепь, проходят токи противоположных направлений. Влияние полей обоих проводников приводит к увеличению плотностей токов на поверхностях проводников, обращенных друг к другу. В коаксиальной паре, вследствие эффекта близости в центральной жиле, ток концентрируется на внешней поверхности аналогично действию поверхностного эффекта, а во внешнем проводнике ток концентрируется на внутренней поверхности, как показано на эпюрах рис. 5.2.

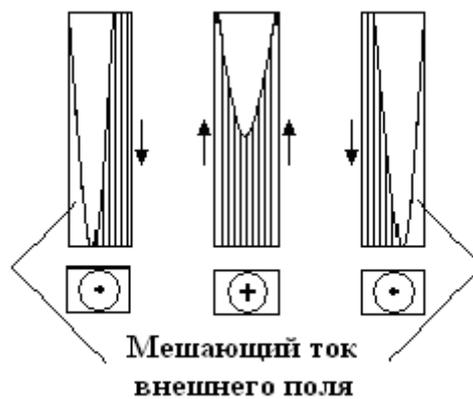


Рис.5.2. Перераспределение тока из-за поверхностного эффекта и эффекта близости

Обратите внимание! Внешние поля вызывают появление токов, протекающих в основном по наружной поверхности внешнего проводника. Вследствие эффекта близости с ростом частоты ω пути сигнальных и мешающих токов во внешнем проводнике разделяются – происходит самоэкранирование кабеля (этот момент изображен на эпюрах). Это и приводит к возрастанию защищенности коаксиальной пары от внешних помех с увеличением частоты передаваемого сигнала. Отсюда и бытовое название внешнего проводника коаксиальной пары – экран. Правда, низкочастотные поля линий электропередач и электрического транспорта экранируются плохо.

Влияние эффекта близости на активное сопротивление и индуктивность проводников кабельной пары аналогично действию поверхностного эффекта: с ростом w R увеличивается, L – уменьшается.

При увеличении частоты сигнала возрастает и комплексное сопротивление Z_n поверхностного слоя, где концентрируется протекающий по проводнику ток. С учетом этого обстоятельства параметры передачи линии будут определяться как

$$\gamma(i\omega) = \frac{A\sqrt{w}}{2\sqrt{L/C}} + i \frac{A\sqrt{w}}{2\sqrt{L/C}} + i\omega\sqrt{LC};$$

$$Z_B(w) = \sqrt{\frac{L}{C}} + \frac{A(1-i)}{2\sqrt{LwC}};$$

$$A = \frac{1}{\pi * d_1} \sqrt{\frac{\rho_1 \mu_1}{2}} + \frac{1}{\pi * d_2} \sqrt{\frac{\rho_2 \mu_2}{2}},$$

где $\rho_{1,2}$ и $\mu_{1,2}$ – значения удельного сопротивления и магнитной проницаемости проводников пары, соответственно.

Из последних формул следует, что волновое сопротивление кабеля на низких частотах увеличивается по модулю. С увеличением частоты волновое сопротивление становится чисто активным и постоянным

$\lim_{w \rightarrow \infty} Z_B = \sqrt{L/C}$). Затухание кабеля пропорционально корню квадратному из частоты. Все рассмотренное относится ко всем электрическим кабелям.

Перейдем к рассмотрению свойств каждой среды передачи.

Кабель “витая пара”. Цифровые линии передачи данных организуются по кабелям “витая пара” на местных, межцеховых и межгородских сетях. На коротких расстояниях в единицы километров применяются многопарные телефонные кабели типа Т с диаметром жил 0,4-0,7 мм, изоляцией в виде пористой бумажной массы или спиралью намотанной бумажной ленты, парной скруткой жил. В одном кабеле типа Т число пар может достигать 1200 (для городской прокладки между жилыми домами и АТС). Могут также применяться многопарные кабели марки ТП с полиэтиленовой изоляцией. Для малонагруженных линий применяются кабели марки КСПП с диаметром жил 0,9 мм упрощенной конструкции, с малым числом жил (до четырех четверок) в полиэтиленовой изоляции. На средних дистанциях до 10 км могут использоваться одночетверочные кабели марки ЗКП с полиэтиленовой изоляцией. Скрутка четырех жил (а не двух) повышает помехозащищенность.

В кабелях основным видом помех являются переходные влияния между сигналами, передаваемыми по различным парам проводников одного кабеля. Предельная длина участка регенерации для цифровых линий определяется из условия обеспечения минимально допустимой величины защищенности от переходных помех. Взаимное влияние оценивается величиной переходного затухания на ближнем A_0 и дальнем A_l концах участка:

$$A_0 = 20 \lg \left(\frac{I_1}{I_{20}} \right) = 20 \lg \left(\frac{U_1}{U_{20}} \right);$$

$$A_l = 20 \lg \left(\frac{I_1}{I_{2l}} \right) = 20 \lg \left(\frac{U_1}{U_{2l}} \right),$$

где индекс 1 относится к влияющей цепи, а индекс 2 – к цепи, подверженной влиянию.

Схема взаимного влияния между линиями в кабеле “витая пара” выглядит так (рис. 5.3):

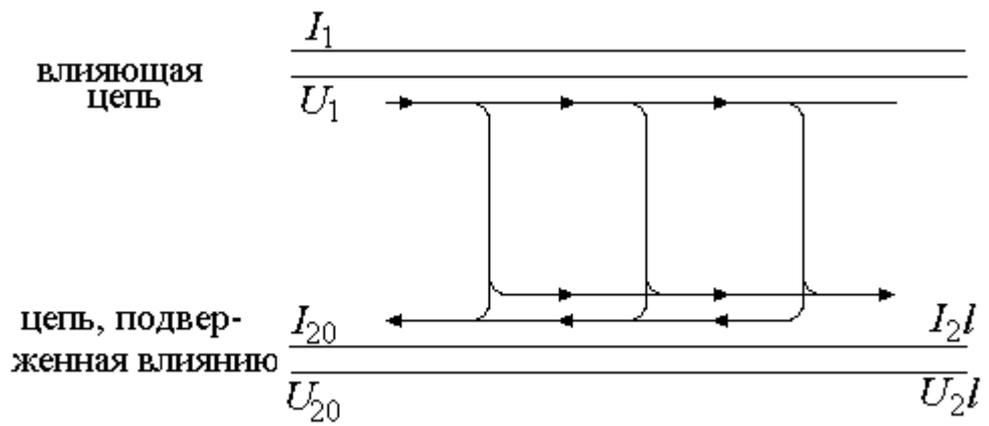


Рис. 5.3. Взаимное влияние линий в кабеле

Величина переходного влияния в кабелях “витая пара” зависит не только от длины участка, но и от частоты передаваемого сигнала. Эта зависимость также носит характер возрастания влияния с ростом частоты.

Предельные нижние значения переходного затухания (в децибелах) для кабелей разных категорий приведены в табл.5.4.

Таблица 5.4

Границы переходного затухания в кабелях различных категорий, дБ

Частота, МГц	Категория		
	3	4	5
10,0	11,5	7,5	7,0
20,0	-	11,0	10,3
100,0	-	-	24,0

Коаксиальные кабели. Линии передачи данных более высокого качества и технических характеристик организуются по коаксиальным кабелям. Наибольшее распространение получили кабели марок КМ – 4, МКТ – 4 и КМ– 8/6. Магистральный коаксиальный кабель КМ – 4 содержит 4 коаксиальные пары диаметром 2,6/9,4 мм (первое число – диаметр центральной жилы, второе – внутренний диаметр внешнего проводника) и 5 “витых” четверок жил диаметром 0,9 мм. Изоляция коаксиальных пар выполнена в виде полиэтиленовых шайб. Малогабаритный коаксиальный кабель МКТ – 4 имеет 4 коаксиальные пары диаметром 1,2/4,6 мм и пять “витых пар” с диаметром жил 0,7 мм. Изоляция в коаксиальных парах – воздушно-полиэтиленовая. Комбинированный коаксиальный кабель КМ – 8/6 содержит 8 коаксиальных пар 2,6 / 9,4 мм, 6 коаксиальных пар 1,2/4,6 мм, а также одну четверку, 8 “витых пар” и 6 отдельных жил диаметром 0,9 мм.

Поскольку защищенность коаксиальной пары от внешних помех увеличивается пропорционально корню квадратному из частоты, переходное затухание в таких кабелях нормируется на нижней частоте используемого диапазона. Так, для пары 2,6/9,4 мм переходное затухание составляет 128 дБ на частоте 300 кГц для строительной длины 600 м. Это позволяет применять однокабельную систему организации линии передачи данных.

Волоконно-оптические кабели. Эти кабели являются наиболее перспективными для линий передачи сигналов. Основные достоинства оптического волокна – низкое затухание, слабые (практически нулевые) взаимные влияния между сигналами, передаваемыми по различным волокнам одного кабеля, малая чувствительность к внешним электромагнитным полям, небольшие размеры, малый радиус допустимого изгиба, большая ширина оптического диапазона волн, дешевое сырье для изготовления волокон.

Волоконный кабель содержит одно или много оптических волокон круглого сечения, изготовленных из кварцевого стекла (или пластмассы) с переменным по сечению волокна коэффициентом преломления. Потери на затухание в кварцевом стекле минимальны в диапазоне длин волн $\lambda = 1,0 \div 1,8$ мкм. Вне этого интервала возрастают потери на ультрафиолетовое слева и инфракрасное справа поглощение. В спектре пропускания кварцевого стекла максимумы поглощения приходятся на значения $\lambda = 0,95; 1,24$ и $1,39$ мкм. Поэтому затухание в волокне менее 1 дБ/км принципиально может быть достигнуто лишь в нескольких дискретных областях ($\lambda = 0,8; 1,2; 1,3$ и $1,55$ мкм).

В реальных волокнах источником потерь, кроме чистоты стекла, являются вариации толщины волокна и плотности материала, изгибы, нарушение профиля показателя преломления, качество сращивания участков или их разъёмных соединений. Все это приводит к возрастанию минимального затухания кабеля до $2 \div 5$ дБ/км.

Оптическое волокно имеет сердцевину и оболочку. Для удержания света в волокне показатель преломления сердцевины n_c должен быть выше, чем у оболочки n .

В зависимости от числа типов электромагнитных волн (мод), которые могут распространяться в волокне, различают одномодовые и многомодовые световоды (рис.5.4).

В настоящее время существует три основных типа световодов, отличающихся законом распределения показателя преломления по сечению и числом распространяющихся мод: многомодовое волокно со ступенчатым изменением показателя преломления (рис. 5.4а), многомодовое градиентное волокно с плавным изменением показателя преломления (рис. 5.4б) и одномодовое волокно со ступенчатым изменением показателя преломления (рис. 5.4в).

В многомодовых волокнах со ступенчатым профилем диаметр сердцевины $d = 50 \div 300$ мкм, скорости распространения различных мод не выравниваются, что приводит к дисперсии до 20 нс/км. В градиентных волокнах показатель преломления изменяется по параболе, что обеспечивает выравнивание оптических длин путей различных распространяющихся мод и, как следствие, резкое уменьшение межмодовой дисперсии до $0,2 \div 1,0$ нс/км.

Полное отсутствие дисперсии может обеспечить гиперболический профиль изменения показателя преломления, но его трудно выдержать при изготовлении волокна. Одномодовый режим распространения обеспечивается при поперечных размерах сердечника волокна, соизмеримых с длиной волны, и при малых значениях разности показателей преломления сердцевины и оболочки.

Так при $n_c = 1,5; \Delta = n_c - n = 0,002$ и $\lambda = 0,85$ мкм диаметр одномодового волокна составляет $d = 6,8$ мкм. Из-за столь малых

размеров сердечника и малой величины Δ изготовление таких волокон технически достаточно сложно. Поэтому первыми были освоены в изготовлении многомодовые волокна.

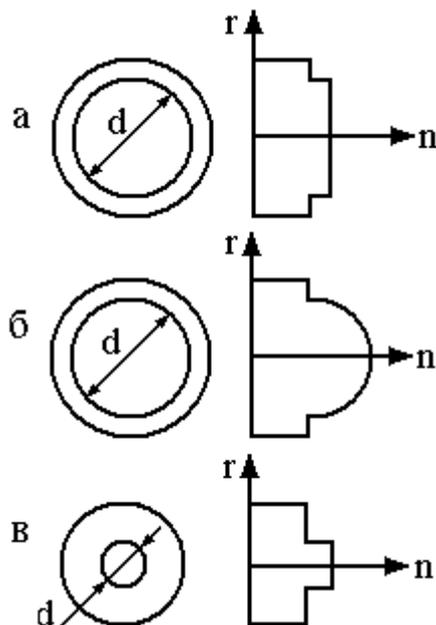


Рис.5.4. Типы световодов

На различных участках сетей могут использоваться волоконно-оптические кабели с различными параметрами. На участках протяженностью порядка 10 км и скоростью передачи 2-140 Мбит/с можно применить волокно с затуханием до 10 дБ/км и дисперсией в несколько нс/км. При значительно большей протяженности линии связи потери в волокне не должны превышать 3-5 дБ/км, что определяет отстояние соседних пунктов регенерации на 8-10 км. Дисперсия импульсов в таких линиях должна быть ниже 1 нс/км, что потребует применения одномодового или градиентного волокна с очень жестко заданным профилем показателя преломления.

Вопросы для самопроверки:

1. Обоснуйте свой выбор между “витой парой” категории 3 (или 4) и тонким коаксиальным кабелем для передачи данных от автоматизированной технологической линии бумагоделательной машины до ВЦ комбината.
2. Сравните взаимовлияние каналов в кабеле с несколькими витыми парами и в кабеле с несколькими оптическими волокнами.
3. Из чего складывается стоимость среды передачи кабельных сред и окружающего пространства?
4. Какова физическая природа экранирующего эффекта внешнего проводника коаксиальной пары?
5. Чем объясняется перспективность применения оптоволоконного кабеля в линиях передачи данных информационных сетей?
6. В чем отличия многомодового волокна от одномодового?
7. Как зависит затухание сигнала в кабеле “витая пара” от частоты?
8. Чем следует руководствоваться при проектировании узлов усилителей мощности (регенерации сигнала) для различных физических сред передачи?

ТЕМА 6. ТИПОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ЛОКАЛЬНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Ethernet - самая распространенная на сегодня технология локальных сетей. Она описана стандартами Ethernet DIX (совместная разработка компаний Digital, Intel, Xerox 1980 г.) и стандартами IEEE 802.3. В частности, стандарты IEEE посвящены Ethernet 10 Мбит/с, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet и 10G Ethernet. Последний принят в 2002 г.

В зависимости от типа физической среды передачи сигналов стандарт 802.3 выделяет различные спецификации: 10Base - 5, 10Base - 2, 10Base - Т, и 10Base - F. Число 10 в этих названиях означает номинальную скорость передачи данных - 10 Мбит/с, слово "Base" - единую базовую частоту передачи 10 МГц, последний символ указывает на тип кабеля. Так, цифра 5 означает коаксиал диаметром 0,5 дюйма; цифра 2 - тоже коаксиал, но диаметром 0,25 дюйма; Т - неэкранированная витая пара различных категорий; F - оптоволоконный кабель.

Для каждой спецификации стандартом определены не только типы кабелей, но и максимальные длины непрерывных сегментов кабелей, правила соединения сегментов в общую сеть для достижения максимальной протяженности, методы кодирования сигналов, способы согласования физического и канального уровней и т.д.

Для всех технологий являются общими метод доступа, форматы передаваемых пакетов (кадров), временные интервалы между ними и некоторые другие параметры.

Между собою технологии 10Base отличаются способами подключений к сетевому кабелю и правилами соединения сегментов в сеть. Так, в 10Base - 5 и 10Base - 2 подсоединить узел к сети можно с помощью игольчатого трансивера, а при объединении сегментов с использованием повторителей (при этом сохраняется единая среда доступа для всех узлов сети, она образует один домен коллизий) следует соблюдать правило 5 - 4 - 3. Это правило получило такое название по ограничениям стандарта: в сети используется не более 5 сегментов 10Base и, значит, не более 4 повторителей; при этом узлы сети могут быть подключены лишь к 3 сегментам. Получается, что ненагруженные сегменты между парами нагруженных узлами сети сегментов служат лишь для увеличения протяженности сети как удлинители.

В технологиях 10Base - Т и 10Base - F узлы подсоединяются кабелями к концентраторам (хабам), которые и образуют единую среду передачи сигналов - логическую общую шину, так как повторяют сигналы, пришедшие в один из портов, на всех остальных своих портах. Число подключенных узлов не превышает числа портов концентратора, а удалены узлы от концентратора не более, чем на 100 м в 10Base - Т (это определяется полосой пропускания витой пары) и до 2000 м в 10Base - F. Сами концентраторы могут соединяться как с помощью витой пары, так и

оптоволоконным кабелем с учетом допустимых расстояний и правила стандарта 802.3 - между любой парой узлов не может размещаться более 4 хабов. На рис. 6.1. показан вариант сети, позволяющий достичь максимального числа узлов при соблюдении ограничений стандарта.

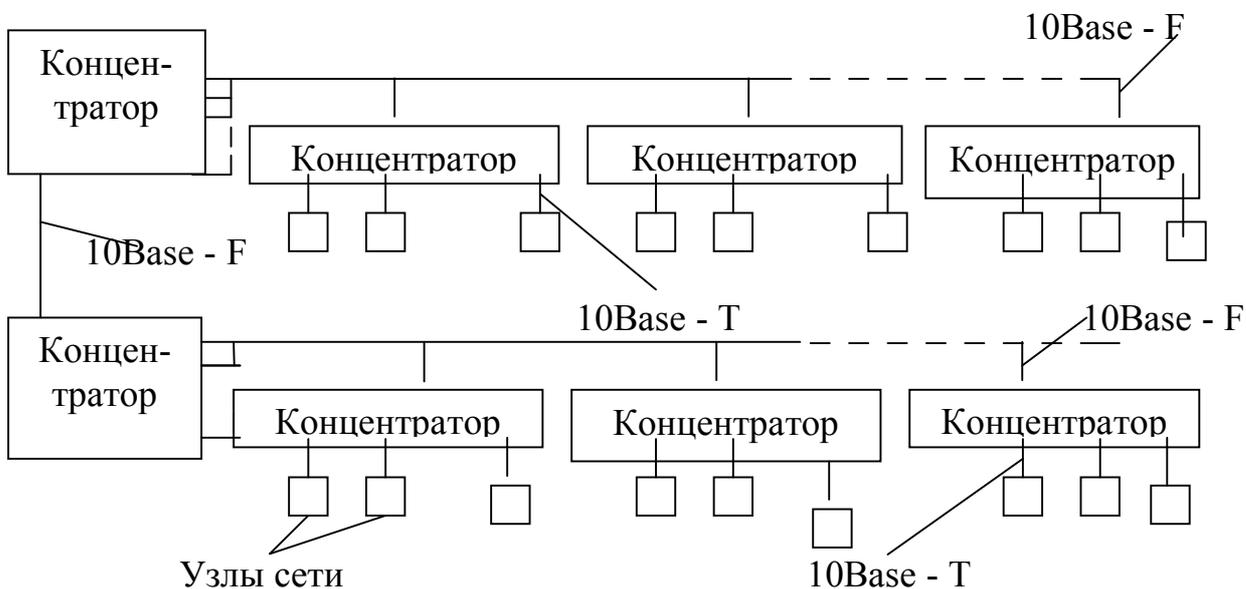


Рис. 6.1. Иерархическая структура логической шины

Технология Fast Ethernet была стандартизована в 1995 г. как узаконенная унификация использования различных физических сред при 10-кратном увеличении скорости передачи. Это спецификации 100Base - TX, 100Base - FX и 100Base - T4.

В том числе: TX - для кабеля из двух витых пар категории 5, FX - для кабеля из двух многомодовых оптоволокон, T4 - для кабеля из 4 витых пар категорий 3, 4, 5. Цена столь серьезного повышения скорости - ряд аппаратных и протокольных усложнений на физическом уровне (к счастью, они оказались довольно простыми). Это - введение специального независимого от физической среды интерфейса, применение специальных повторителей, изменение методов кодирования сигналов для передачи по сети. Так, в 100Base - TX / FX принят метод кодирования 4В/5В, а в 100Base - T4 - 8В/6Т.

Если в TX/FX параллельные линии предназначены для осуществления дуплекса, то в T4 - 8 двоичных цифр заменяются 6-ю троичными, и каждая такая группа направляется циклически в одну из трех передающих пар независимо (четвертая пара предназначена для прослушивания занятости линии с целью обнаружения конфликта). При этом скорость передачи по каждой витой паре составляет лишь 33,3 Мбит/с. Это и позволяет использовать витую пару низкой категории 3.

Стандарт для нескольких физических сред позволяет комбинировать типы сегментов в одной сети. Специальные повторители класса II

поддерживают один метод кодирования: либо 4В/5В, либо 8В/6Т, а специальные повторители класса I - оба. Поэтому в одной сети допустима, например, композиция нескольких сегментов на витой паре с максимальной длиной сегмента до 100 м и одного сегмента на оптоволокне с максимальной длиной до 160 м при общей протяженности сети не более 260 м. Для композиции нескольких сегментов витой пары и нескольких сегментов на оптоволокне соответствующие длины - 100, 136 и 272 м.

Вскоре после освоения Fast Ethernet стали проявляться существенные ограничения: серверы, подключенные по каналу 100Base, перегружали магистрали сетей, работающие на скорости 100 Мбит/с. Появилась необходимость в следующем уровне иерархии скоростей. И в 1998 г. был принят стандарт 802.3z для экранированной витой пары и оптического волокна, а также 802.3ab для витой пары неэкранированной категории 5 под названием Gigabit Ethernet. Этот стандарт обеспечил очередное 10-кратное увеличение скорости передачи, поэтому его спецификации обозначаются как 1000Base. Естественно, возникшие новые проблемы потребовали новых инженерных решений. Так, для передачи по многомодовому оптоволокну предложено использовать излучатели двух длин волн: 850 нм (коротковолновый, тогда в наименовании технологии 1000Base - F пишется в конце буква S: 1000Base - FS) и 1300 нм (длинноволновый и, соответственно, 1000Base - FL). Для экранированной медной витой пары предназначена технология 1000Base - C. Сложнее всего было решить задачу передачи на такой большой скорости по неэкранированной витой паре, пусть даже самой высокой категории 5.

Выход был найден за счет применения для кодирования данных кода PAM 5, пятеричные цифры которого принимают значения -2; -1; 0; +1; +2. Это усложняет аппаратуру, но позволяет за один такт по одной паре передать $\log_2 5 = 2,32$ бита информации. А поскольку код PAM 5 имеет спектр уже, чем 100 МГц при тактовой частоте 125 МГц, то по одной паре категории 5 можно без искажений передать 250 Мбит/с ($125 \times 2,32 = 290 > 250$). Дальше уже легче: для передачи данных со скоростью 1000 Мбит/с следует осуществлять параллельную передачу по 4 витым парам одновременно, что и было реализовано, а стандарт определяет кабель с 4 неэкранированными парами категории 5.

В каждом такте передается не $2,32 \times 4 = 9,28$ бит информации, а только 8 бит. Избыточные комбинации принятого метода кодирования (а их $5^4 - 2^8 = 369$) используются для контроля принимаемой информации в случае появления запрещенных избыточных комбинаций и для служебных целей. Последние считаются разрешенными. Все это подробно изложено в стандарте 802.3ab.

Для наглядного представления и сравнительного анализа характеристик и спецификаций стандарта 802.3 они сведены в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Параметры физического уровня сетей Ethernet

№ п/п	Параметр	Технология												
		10 Base -					100 Base -					1000 Base -		
1	2	5	2	T	F	TX	FX	T4	S(L)	C	T			
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
1	Тип кабеля	коак-сиал толстый	коак-сиал тонкий	витая пара кат. 3, 4, 5	мног. мод. товолокно	витая пара кат.5	мног. мод. товолокно	витая пара кат. 3, 4, 5	мног. мод. оп. товолокно	экран иров. витая пара	витая пара кат. 5			
2	Длина сегмента, м. мах	500	185	100	2000	100	136	100	500	25	100			
3	Число узлов в сегменте, мах	100	30	1024	1024	*	*	*	*	*	*			
4	Число сегментов в сети, мах	5	5	5	5	*	*	*	*	*	*			
5	Расстояние между узлами, м. мах	2500	925	500	2500	200	272	412	500	25	100			
6	Способ соединения в сеть	повторители по правилу 5-4-3	повторители по правилу 4 хабов	повторители класса I или II	повторители класса I или II	повторитель								

Окончание табл. 6.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
7	Число повторителей между узлами, тах	4	4	4	4	1 кл. I или 2 кл. II			1	1	1
8	Метод кодирования	манчестерский код				4В/5В	4В/5В	8В/6Т	8В/10В	8В/10В	РАМ 5
9	Метод доступа	множественный доступ с контролем несущей и обнаружением конфликтов									

* Каждый узел подсоединяется к повторителю своим сегментом необходимой длины в пределах максимальной. Число узлов (сегментов) ограничивается общей протяженностью сети.

Считаем необходимым еще раз обратить внимание на то, что каждое 10-кратное повышение скорости передачи по сети с сохранением метода доступа и основных характеристик кадра требовало усовершенствования аппаратуры (например, переход на повторители I и II классов) и некоторых изменений в протоколах транспортного уровня, связанных как с согласованием сигналов, так и с изменением метода кодирования сообщений перед преобразованием в сигналы для кабеля. Технологии Fast и Gigabit поддерживают полудуплексный и полнодуплексный режимы. Поэтому число линий связи (пар, оптоволокон) в кабелях возросло.

По табл. 6.1 легко проследить, как боролись разработчики Ethernet за повышение эффективности сети шинной топологии со случайным доступом. Но от основного недостатка - снижения эффективности с ростом нагрузки окончательно избавиться так и не удалось. Альтернативой применению метода случайного доступа с самого начала была разработка компании IBM 1970 г. Token Ring, а на ее основе - стандарт комитета IEEE 802.5 1985 г. В самой IBM сеть маркерного кольца до сих пор является самой популярной для локальных сетей.

Как уже отмечалось ранее, кольцевая топология с маркером относится к сетям с детерминированным доступом. Предельное время ожидания маркера для осуществления передачи не превышает произведения времени удержания маркера узлом на число узлов в кольце. Само же время удержания маркера передающим узлом настраивается при инициализации сети и обычно по умолчанию равно 10 мс.

Сети стандарта 802.5 работают на скорости 4 Мбит/с, но предусмотрена возможность переключения скорости на 16 Мбит/с. Такой рост обеспечивается введением специального алгоритма раннего освобождения маркера. Одна физическая сеть может работать только на одной скорости. Если в сети Token Ring 4 Мбит/с передающий узел пересылает маркер дальше по кольцу только после получения своего же сообщения с квитанцией получателя, то в сети Token Ring 16 Мбит/с передающий узел отправляет маркер вслед за своим сообщением. Это позволяет повысить эффективность использования сети до 80 %.

Стандарт Token Ring предусматривает организацию связей в сети как с помощью непосредственного соединения узлов друг с другом через повторители, так и образованием кольца с помощью концентраторов. Последние могут быть активными и пассивными, но для соединения концентраторов в общее кольцо используются специальные порты Ring-In и Ring-Out так, как показано на рис. 6.2.

Пассивные концентраторы обеспечивают только подсоединение своих портов к кольцу, активные - еще выполняют функцию повторителя, чем поддерживаются синхронизация сигналов и регенерация их параметров. Естественно, что активные концентраторы обслуживают узлы на больших удалениях, чем пассивные.

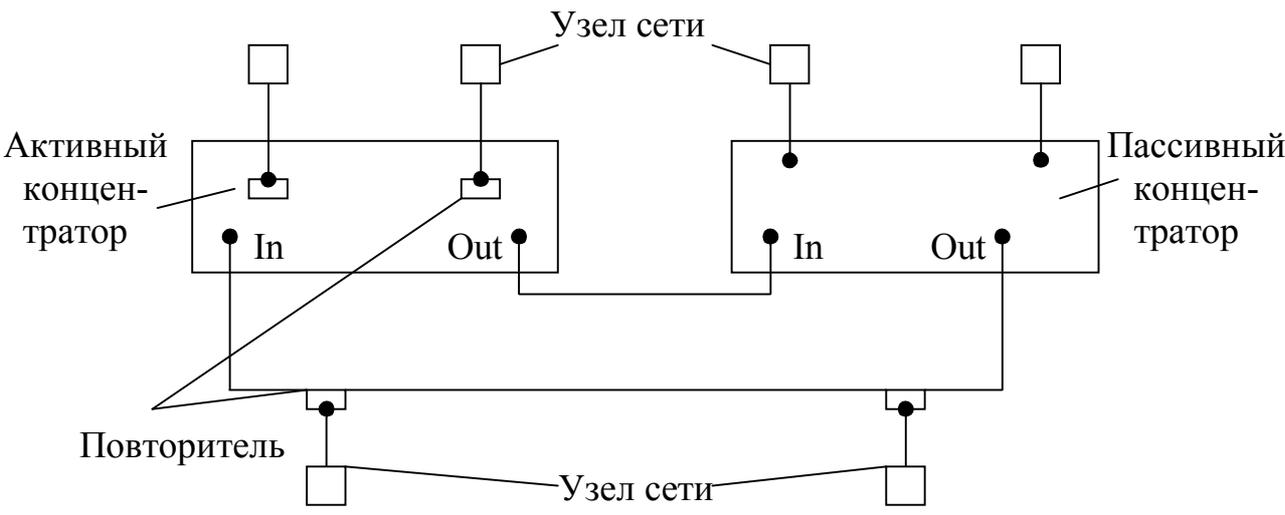


Рис. 6.2. Схема сети Token Ring

Узлы подсоединяются к концентраторам с помощью ответвительного кабеля, обычно экранированной витой пары. Длина ответвительного кабеля зависит как от скорости передачи, так и от типа концентратора подсоединения.

Максимальные длины (в метрах) приведены в табл. 6.2. Существуют повторители и концентраторы Token Ring, поддерживающие неэкранированную витую пару и оптоволокно.

Таблица 6.2

Максимальные длины ответвительных кабелей, м

Концентратор	Скорость, Мбит/с	
	4	16
Активный	600	200
Пассивный	100	45

Для магистральных кабелей, образующих собственно кольцо, применяются неэкранированные витые пары высоких категорий или оптоволокно. Общая длина кольца может достигать 4000 м, а число узлов - 250.

Существует еще ряд технологий локальных сетей, комбинирующих организацию и доступ Ethernet и Token Ring. Так, в технологии ARCNet сочетаются шинная топология и маркерный метод доступа; в FDDI применено резервирование кольцевой топологии: в случае обрыва сети концы участка с местом обрыва переключаются на резервное внешнее кольцо, образуя единое кольцо большей длины; в 100VG - AnyLAN (эта альтернатива Fast Ethernet разработки фирм AT&T и HP) определен новый метод приоритетного доступа и введен избыточный код 5B/6B для кодирования ради поддержки кадров и формата Ethernet, и формата Token Ring (поэтому и "любая сеть" в названии).

Вопросы для самопроверки:

1. В чем сходства и различия технологий Ethernet 10Base и 100Base?
2. Каково назначение двух витых пар в 100Base - TX, двух оптоволокон в 100Base - FX и четырех витых пар в 100Base - T4?
3. Для чего применяется избыточное кодирование и в каком случае избыточность больше: при кодировании 4В/5В или 8В/10В?
4. Сравните методы кодирования 4В/5В и 8В/6Т для использования потенциального кода передачи сигналов. Какой из них предпочтительней?
5. Как обеспечивается скорость Gigabit по кабелю из неэкранированных витых пар?
6. В чем состоит алгоритм ускорения передач в маркерном кольце Token Ring?
7. Сравните достижимые границы эффективности сетей Ethernet и Token Ring. Когда и какая из них выше?
8. К чему приведет соединение концентраторов In - Out - Out - In?

ЧАСТЬ II. ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

ТЕМА 7. ОСНОВЫ ТЕЛЕФОНИИ

Основное назначение телефонии - передача звукового сигнала в виде человеческой речи, музыки, шумов на расстояние. При этом должен быть охвачен весь диапазон аналоговых сигналов, воспринимаемых человеческим ухом.

При общении людей в пределах слышимости звуковые колебания, сгенерированные голосовыми связками, передаются через воздух и достигают уха слушателей. Передача осуществляется механически и представляет собой области повышенного и пониженного давления, которые распространяются в трехмерном пространстве как круги на воде от брошенного камня. По мере удаления от источника звук теряет силу, становится тише. Это происходит из-за того, что его энергия, первоначально сконцентрированная в одной точке, распределяется на все большую площадь сферы возрастающего радиуса при удалении от источника. Другая причина затухания звука – неупругий характер соударений молекул воздуха друг с другом. Все вместе заметно ограничивает расстояние, на которое разборчивая речь может быть передана по воздуху. Для увеличения этого расстояния достаточно, казалось бы, усилить звук, но и в этом случае далее 1000 м никто ничего не услышит, даже если применить рупор (Объяснение физической основы работы рупора – несложное упражнение для читателя). Значит, передача звука на большие расстояния требует иного механизма, нежели распространение по воздуху.

Такой механизм появился после патентования телефонного аппарата в 1876 г. Наличие в нем микрофона, преобразующего механические колебания воздуха в колебания электрического тока, позволяет передать такой сигнал по медным проводам. А для компенсации потерь, которые есть всегда и везде, сигнал можно периодически усиливать. Теперь расстояние можно измерять не сотнями метров, а сотнями и тысячами километров. На другом конце такой линии находится обратный преобразователь электрических колебаний в механические – телефон. Результат его работы – механические колебания воздуха - воспринимаются ухом и интерпретируются мозгом как звук. Таким образом, телефонный аппарат играет роль конвертора, необходимого для преобразования механической энергии в электрическую и обратно. Пока сигнал пребывает в электрической форме, его можно передать на большое расстояние. Соединив линиями два или более телефонных аппарата между собой, мы построим простую телефонную сеть. Но кто сможет оценить количество линий, потребное для такой сети, соединяющей каждого с каждым? Пока количество телефонных аппаратов невелико (например, для деревни в 4 двора), число проводов может оказаться

приемлемым. Но когда телефон перестал быть дорогой редкостью, такой подход стал неэкономичным.

Сегодня телефонная индустрия использует коммутируемую сеть, в которой каждый телефонный аппарат (абонент – владелец этого аппарата) своей линией связи соединен с централизованным коммутатором (центральной телефонной станцией, АТС). Этот коммутатор обеспечивает связь на время соединения двух абонентов. Как только разговор завершается, передача сигнала прекращается, связь разрывается. Работа коммутируемой сети предполагает, что все абоненты одновременно разговаривать не будут. Это позволяет пользоваться одним оборудованием (коммутатором, линиями связи между АТС) совместно, что приводит к снижению затрат на реализацию, эксплуатацию и пользование сетью.

Структура коммутируемой сети выглядит так (рис.7.1):

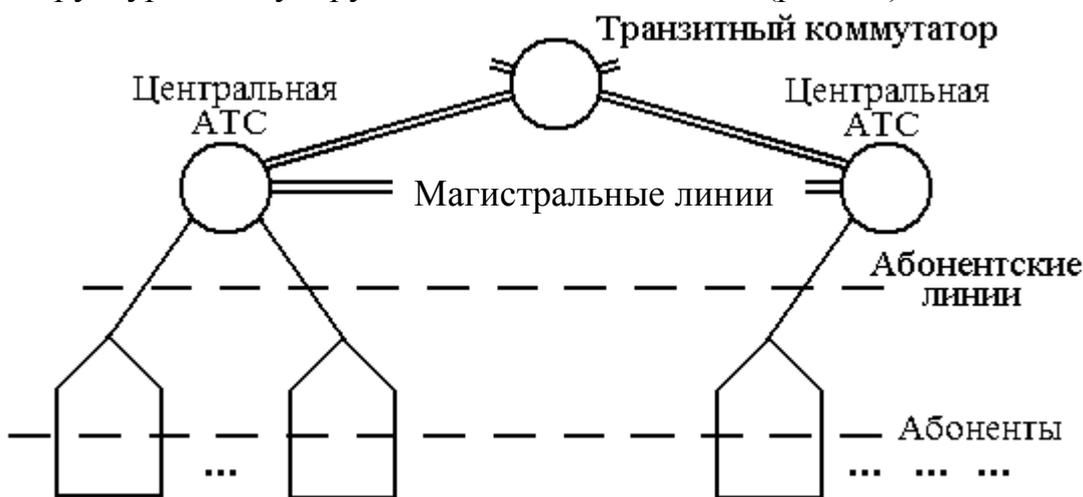


Рис.7.1. Коммутируемая телефонная сеть

Если надо соединиться абонентам одной АТС, она сама выполнит это соединение. Для соединения абонентов разных АТС между ними должна быть магистральная линия. Если между двумя АТС проложено 100 магистральных линий, то они одновременно могут выполнить 100 соединений между своими абонентами. После окончания разговора магистральная линия освобождается и готова для обслуживания другого возможного соединения. Для соединения с абонентами других участков сети или абонентов, которым не хватает магистральных линий, используется транзитный коммутатор, связанный с другими коммутаторами этого и некоторых других участков общей сети.

Абонентская линия – выделенный канал связи абонента с АТС в виде витой пары, всегда доступен для абонента. За него взимается абонентская плата. Связь типа точка - точка в полудуплексном режиме. Это приемлемо для разговоров (трудно слушать другого и самому говорить одновременно), но весьма проблемно при попытке передавать цифровые данные, так как в этом случае необходим дуплексный режим.

Центральная АТС – основной элемент сети, с помощью которого устанавливаются временные соединения между двумя абонентами. Для этого в АТС должны приходиться абонентские и магистральные линии. Для заказа разговора абонентом и отслеживания им хода установления соединения в АТС должны быть также специальные служебные каналы. Именно по ним посылаются абонентам “гудки” (тональные сигналы) и сигналы вызова по набранному номеру (собственно звонки). Структура АТС может быть представлена следующим образом (рис.7.2):



Рис.7.2. Структура АТС

Матрица, или блок коммутаторов представляет собой устройство, выполняющее физическое соединения либо абонентских линий между собой, либо абонентской и магистральной линии. Блок коммутаторов может быть:

- электромеханическим, выполнен на релейных схемах с шаговыми (декадными) искателями;
- полностью электронным, выполнен на полупроводниковых схемах с мощными оконечными каскадами;
- полностью цифровым, выполнен с применением АЦП и другой цифровой технологии.

Тип коммутатора однозначно определяет поколение АТС. В 50-60-х гг. XX в. АТС были электромеханическими, в 70-80-х – электронными, а с 90-х – стали цифровыми.

В функции управляющего процессора входят: контроль за установлением соединения, контроль за протеканием разговора и загрузкой ресурса. Часто на него же возложена функция биллинга – определения стоимости и выписки счетов за предоставленные услуги, например, междугородные соединения.

Центральная АТС обычно размещается в одном коммутационном шкафу. Такой шкаф вмещает не только коммутатор, но также силовое оборудование, автономное питание, оборудование служебных каналов, платы для тестирования и наладки.

Магистральные линии обычно отличаются от абонентских. Это высококачественные многоканальные цифровые линии связи, на которых могут применяться современные технологии уплотнения (мультиплексирования) трафика. В настоящее время новые магистральные линии выполняются в виде оптоволоконных кабелей. Высококачественными,

но дорогими целесообразно делать объекты коллективного пользования, каковыми и являются магистральные линии.

Транзитный коммутатор – тоже АТС, но выполняющая функции коммутации центральных АТС или таких же транзитных коммутаторов. Несколько транзитных коммутаторов связаны между собой и так называемой “точкой присутствия”. Она представляет собой коммутатор, на котором сходятся магистрали нескольких транзитных коммутаторов, например, одного района. Сами “точки присутствия” также связаны друг с другом. Получается иерархическая структура, в которой, кроме связей между уровнями, имеются связи и на “своем” уровне. Роль “точек присутствия” проявляется при осуществлении междугородного (международного) соединения.

Для выполнения такого соединения вызывающая станция (ваша АТС – оператор местной связи) занимает линию междугородной телефонной сети (магистраль) и передает набранный вами номер в место присутствия междугородной (международной) сети для вызываемого абонента оператору дальней связи (междугородная АТС), маршрутизирует звонок оператору дальней связи в «точке присутствия» вызываемого абонента для доставки запроса на связь. Этот оператор на дальнем конце осуществляет физическое соединение АТС вызываемого абонента со своей “точкой присутствия”. Туда же направляет звонок вызывающий оператор дальней связи. Так занимается магистраль на АТС вызываемого абонента. Когда вызываемый абонент поднимет трубку, соединение считается выполненным. Как видим, такой звонок является объединением коммутируемых соединений в единую физическую цепь: абонент А – АТС А - “точка присутствия” оператора дальней связи А - “точка присутствия” оператора дальней связи В – АТС В – абонент В. Биллинг – учет времени и начисление платы за услуги дальней связи - происходит с момента снятия трубки вызываемым абонентом. Когда один из абонентов вешает трубку, созданная цепь разрывается, и все оборудование коллективного пользования освобождается для формирования другой цепи. Это – классическая схема коммутации физических каналов. Она работает до сих пор.

Новой тенденцией в телекоммуникации является применение технологии на основе коммутации не каналов, а пакетов для передачи речевого трафика. На сегодня самым популярным протоколом с коммутацией пакетов является протокол IP (Internet Protocol). В режиме пакетной коммутации через оборудование коллективного пользования можно пропустить больше речевых сигналов одновременно, чем при коммутации каналов. Это позволяет снизить затраты на прокладку магистральных линий связи и более эффективно использовать существующие линии. Так, при коммутации каналов весь канал (а значит, и вся полоса его пропускания) выделяется абоненту независимо от фактического времени собственно разговора, т.е. включая все паузы, во время которых канал не нагружен, следовательно простаивает. При коммутации пакетов абоненту выделяется только часть

полосы пропускания канала, а во время пауз, когда канал не занят абонентом, могут быть переданы пакеты речевых сигналов других абонентов.

Рассмотрим сценарий передачи речи с использованием IP-протоколов и стандартных телефонных аппаратов. Абонент А снимает трубку и соединяется со своей АТС А. Но вот дальнейший путь трафика существенно отличается от прежней схемы коммутации каналов (рис.7.3).

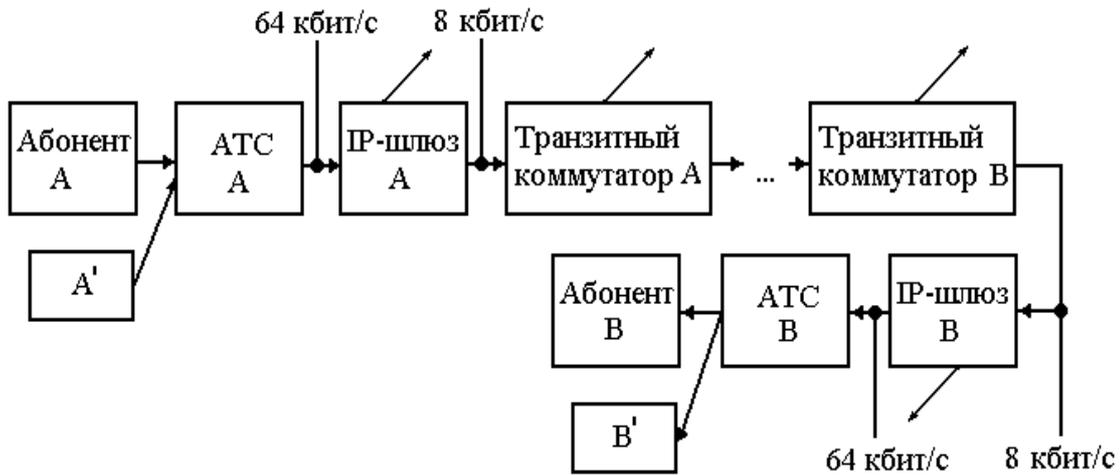


Рис.7.3. Соединение в сети с использованием IP-протоколов

АТС А, как показано на схеме, коммутирует абонента А со своим IP – шлюзом А, что является местным вызовом. Шлюз запрашивает идентификатор (номер) абонента А, запоминает его и выдает тональный сигнал (гудок), разрешающий абоненту А набирать номер вызываемого абонента В. Номер абонента В помещается в буфер исходящего IP – шлюза А, который (шлюз) начинает поиск подходящего входящего IP – шлюза. После того, как входящий IP-шлюз В найден, шлюз А посылает ему серии IP – пакетов, чтобы запросить и установить удаленное соединение. Если вызов принимается, шлюз В дозванивается до вызываемого абонента В так же, как если бы он был инициатором связи. В момент, когда абонент В отвечает на звонок, формируется соединение на основе коммутации каналов между абонентом А и шлюзом А, а также между шлюзом В и абонентом В. Между шлюзами цифровой речевой сигнал передается по сети как поток IP-пакетов. При этом для передачи речевого сигнала на участках скоммутированных каналов используется стандартный способ кодирования: данные передаются в виде цифрового потока с полосой 64 кбит/с, а на участках остальной сети применяются схемы уплотнения низкоскоростных потоков (до 8 кбит/с), чтобы шлюзы могли выполнить любое необходимое преобразование. Ветвление потока пакетов возможно в любом пункте.

IP – телефония и операторы (провайдеры) Интернет-телефонии представляют сегодня быстро развивающуюся область телефонной индустрии.

Вопросы для самопроверки:

1. Какова физическая суть распространения звука по воздуху?
2. Что выполняет функции трансивера и ресивера при передаче речи по медным проводам?
3. Сколько пар проводов потребовалось бы для реализации простой сети, соединяющей каждого абонента с любым другим в городе с населением 600 тыс. человек?
4. Как классифицируются поколения АТС и что является критерием этой классификации?
5. Почему на магистральных линиях выгоднее применять более дорогие кабели высокого качества?
6. Транзитный коммутатор – «точка присутствия» чего и где? Что может играть роль такой «точки»?
7. Каковы достоинства и недостатки технологии коммутации каналов?
8. Какие преимущества и издержки принесла технология коммутации пакетов по IP-протоколу?

ТЕМА 8. ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ В ТЕЛЕФОННОЙ СЕТИ

Инфраструктура телефонной сети строилась по функциональному принципу: доступ, коммутация, передача. Составляющая “доступ” включает оборудование и каналы связи, которыми абонент подключен к центральной АТС. Это абонентские линии и контроллеры абонентских линий. Коммутация включает в себя оборудование, отвечающее за соединение абонентов между собой. Но если соединяемые абоненты принадлежат разным АТС, то существенной становится передача по магистральным каналам связи.

Технология передачи традиционно играет роль звена, соединяющего коммутаторы, и поэтому включает оборудование и каналы связи для организации соединений между АТС. Несложно предвидеть, что в любой момент может потребоваться достаточно большое количество соединений между коммутаторами АТС. Поэтому технология передачи практически всегда включает мультиплексирование какого-либо вида. Сам вид мультиплексирования определяется характером передаваемых сигналов и физической средой их распространения.

Рассмотрим проводные системы. Первые телефонные сети представляли собой аналоговые проводные системы передачи (например, системы типа N, N - Carrier). Речевая информация передавалась в форме широкополосных аналоговых сигналов. Коммутирующие узлы поддерживали выделенные каналы для передачи широкополосных сигналов. Поэтому оптимизация системы передачи сводилась к известному методу частотного мультиплексирования: ведь для передачи разговора достаточно полоса в 4000 Гц. Мультиплексирование с частотным разделением (FDM) до сих пор играет важную роль в современных телекоммуникационных системах. Но оно тоже имеет недостатки. И связаны они с проблемой качества сигнала.

То, что сигналы затухают, не является неожиданным. Для поддержки энергии сигнала при передаче на большие расстояния служат усилители. Но они не обладают избирательностью и усиливают все, что попадает на вход. А это не только сигналы, но и шумы, и помехи. И вот после нескольких усилителей на линии полезный сигнал можно уже не опознать из-за помех. Кроме того, для сохранения качества сигнала усилители должны обладать строго линейными характеристиками, что усложняет и удорожает аппаратуру. Поэтому в большинстве современных проводных сетей был взят курс на цифровые технологии.

Первая цифровая система передачи по металлическим проводам между АТС в Чикаго и АТС в Скоки (штат Иллинойс) была введена компанией AT&T в 1962 г. С этого времени начался лавинообразный процесс по переводу обмена между АТС на “цифру”. Но ведь этот перевод связан с проблемой преобразования широкополосного голосового сигнала в узкополосный с помощью, например, импульсно – кодовой модуляции. Так

стоит ли “овчинка выделки”? Ответ так же прост, как сама двоичная цифра. В отличие от усиления затухающего аналогового сигнала с помощью усилителя, цифровой сигнал воспроизводится с помощью повторителя в точно том же виде, как в месте его генерации, свободным от помех. Важно только поставить повторитель в таком месте на линии, где “1” и “0” еще твердо распознаются как “1” и “0”. И по назначению в приемник приходит точная копия сигнала передатчика. Одного этого аргумента вполне достаточно для обоснования перехода на “цифру”. Кроме того, цифровые системы являются ключевыми, а не линейными, поэтому существенно дешевле.

Как выполняется аналогово-цифровое преобразование с помощью кодера и обратное с помощью декодера, мы уже рассматривали. Стоит лишь отметить, что на протяжении последних сорока лет цены электронного оборудования все время снижались, и местоположение речевого кодера в телефонной сети сместилось из центра (между АТС) на край, к самому пользователю: сначала между коммутатором и абонентскими линиями, а затем непосредственно в телефонную трубку.

Полоса частот широкополосного речевого сигнала ограничена 4000 Гц. Для его передачи по критерию Найквиста требуется 8000 отсчетов, каждый отсчет кодируется 8-разрядным двоичным числом. Скорость результирующего потока данных на выходе преобразователя составляет $8000 \times 8 = 64000$ бит/с. Эта скорость передачи сигналов называется “цифровым сигналом уровня 0” или просто DS-0 (Digital Signal level 0), иначе – “канал T1”.

Для узкополосных каналов применяется мультиплексирование с разделением времени (TDM). Концепция мультиплексирования T1 весьма проста: в режиме TDM объединяются 24 канала DS-0 в один кадр T1, для передачи по четырехпроводной полнодуплексной линии связи. К суммарной пропускной способности $64 \text{ кбит/с} \times 24 = 1536 \text{ кбит/с}$ добавляется служебная информация кадров T1 размером $1 \text{ бит} \times 8000 \text{ 1/с} = 8 \text{ кбит/с}$. Таким образом, скорость передачи по линии T1 составляет 1,544 Мбит/с. Формат кадра показан на рис. 8.1.

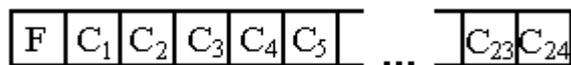


Рис.8.1. Формат кадра T1

Кадрирующий бит F используется для синхронизации кадров.
 $C_1 - C_{24}$ – речевые каналы.

В одном кадре T1 содержится $8 \text{ бит} \times 24 + 1 \text{ бит} = 193$ бита, которые должны быть переданы за 125 мкс. И снова при скорости передачи 8000 кадров/с скорость канала составляет 1,544 Мбит/с. При этом одновременно могут поддерживаться 24 разговора между 24 парами абонентов.

Для организации соединения необходим обмен служебными сигналами между АТС. В кадре T1 для них места нет. Тогда был найден “элегантный” выход: формируется суперкадр T1, состоящий из 12 простых кадров T1. Он содержит $193 \text{ бит} \times 12 = 2316 \text{ бит}$, которые пропускаются уже не за 125 мкс, а за $125 \times 12 = 1500 \text{ мкс} = 1,5 \text{ мс}$. В составе суперкадра содержится 12 информационных, кадрирующих бит. 6 из них, принадлежащих нечетным кадрам 1, 3, 5, 7, 9 и 11, используются по прямому назначению для синхронизации, а остальные 6 – для других целей. Например, для указания тех кадров, в которых присутствует сигнальная информация. В частности, для этого используются кадры 6 и 12. В них в каждом речевом канале кодирование отсчета осуществлено не 8-разрядным, а 7-разрядным двоичным числом, младший же 8-й разряд отводится под сигнальную информацию, всего 24 бита на кадр. Такой способ закругления не вызывает заметного ухудшения речевого сигнала, так как “усечения” происходят настолько редко (в 16 % кадров) и настолько малы, что просто не воспринимаются человеческим ухом.

В соответствии с известной поговоркой про аппетит, был определен новейший формат кадра T1, получивший название “расширенный суперкадр”. Он состоит из двух суперкадров, объединенных вместе. В такой конструкции еще больше возможностей для переноса сигнальной информации о расширенных сервисных функциях (контроль ошибок, тестирование). На этом пока остановились.

Сама линия связи T1 строится следующим образом. Линия соединяется с другими участками телефонной сети через терминальные мультиплексоры. Если по другую сторону терминального мультиплексора находится аналоговый телефонный аппарат, то в мультиплексоре осуществляется и преобразование аналог – цифра. Если по другую сторону терминального мультиплексора находится какое-либо сетевое устройство, например, маршрутизатор или транзитный коммутатор, то этот терминальный мультиплексор выполняет преобразование форматов сигналов из линии в формат сопрягаемого устройства. Таким образом, терминальные мультиплексоры – разные устройства, а собственно линия T1 – это все то, что размещается между терминальными мультиплексорами T1. Но это не только провода, обычно две витые пары (рис.8.2).



Рис.8.2. Построение линии T1

Если через каждые 1828 м (это 6000 футов, примерно 1 морская миля) устанавливать повторители, то длина линии T1 не ограничивается. Эта дистанция определена из условия гарантированного распознавания двоичных сигналов “0” и “1” (часто в системах кодирования сигналы имеют от $\pm 3В$ до $\pm 6В$). На линии T1 могут устанавливаться мультиплексоры ввода / вывода для манипулирования отдельными каналами DS – 0 (всего в линии их 24). Например, мультиплексор ввода/вывода, размещенный в здании офиса, может изъять, вывести до 6 каналов DS–0 для использования их внутри здания. Через этот же мультиплексор освобожденные каналы могут быть заполнены трафиком из другого источника. Таким образом, через мультиплексоры ввода/вывода можно управлять пропускной способностью (правда, только в сторону уменьшения) и манипулировать трафиком. Для расширения такой возможности применяются кросс-соединения, во время которых каналы DS – 0 извлекаются из одной линии T1 и помещаются в другую. Это бывает полезно для обхода аварийных участков сети (по аналогии с транспортной развязкой).

Технология T1 изначально разрабатывалась как система мультиплексирования и передачи для соединения телефонных коммутаторов различных АТС. В этом качестве она прослужила много лет и продолжает служить. Но сеть растет, и сегодня наличие телефонного аппарата в каждой квартире стало нормой. Однако в новостройках этого нет. Не хватает емкости АТС. Можно, конечно, расширять существующие АТС или строить новые. А можно подойти и с другой стороны.

Для использования телефонных линий с целью передачи данных на высоких скоростях также необходим рост пропускной способности. В этой связи была разработана иерархия мультиплексирования, существенно расширяющая возможности T1. Ступени этой иерархии – уровни, принятые в Америке, Европе и Японии, приведены в табл.8.1.

Таблица 8.1

Уровни передачи данных по T1 в различных регионах

Уровень	Скорость передачи данных, Мбит/с		
	США	Европа	Япония
DS-0/E-0/J-0	0,064	0,064	0,064
DS-1/J-1	1,544		1,544
E-1		2,048	
DS-2/J-2	6,312		6,312
E-2		8,448	
DS-3	44,736		
E-3/J-3		34,386	34,386
DS-4	274,176		
E-4		139,264	
J-4			379,2
E-5		565,148	

Уровень DS-1 достигается уже известным способом: мультиплексированием 24 каналов DS-0, что и сделано в линии T1. “Сборка” 4 каналов DS-1 уже обеспечивает уровень DS-2. И, наконец, 7 каналов DS-2 мультиплексируются в один канал DS-3. Более высокие уровни на металлических проводниках никогда воплощены не были. Такие скорости передачи требуют уже не проводов, а волноводов, что резко удорожает и укорачивает линию связи.

На рис. 8.3 показана технология двухступенчатого мультиплексирования M1/3.

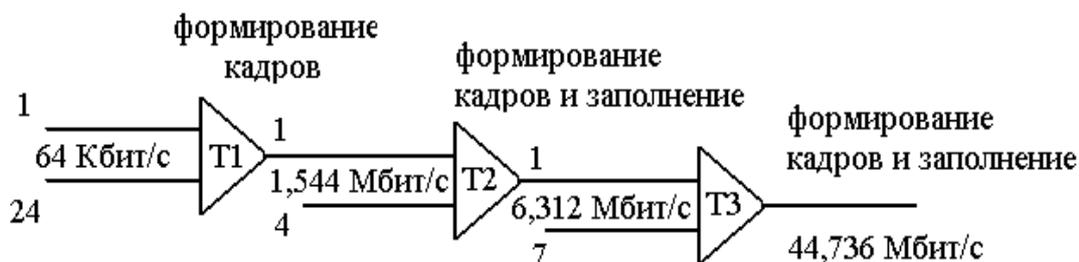


Рис. 8.3. Двухступенчатое мультиплексирование

Мультиплексор M1/3 объединяет $4 \times 7 = 28$ линий T1 в одну T3, что и обеспечивает сервис D-3.

Однако, сразу бросается в глаза арифметическая “ошибка”: $1,544 \times 4 = 6,176 \neq 6,312$. Откуда взялась дополнительная скорость? Если при мультиплексировании T1 потребовалось ввести служебную информацию и это привело к уменьшению скорости, то при переходе к T2 также должны быть дополнительные затраты на служебную информацию. Однако места для нее оказалось слишком много, и неостребованные места заполняются данными. Это и привело к увеличению скорости передачи. Безусловно, технически мультиплексор T2 (как и T3) сложнее T1. Похожий “арифметический казус” с T3 ($6,312 \times 7 = 44,184 \neq 44,736$) объясняется подобными причинами.

Выполнение операции “заполнения” привело к тому, что в пределах T3 уже невозможно выделить только одну линию T1 для манипуляции типа ввод/вывод или кросс - соединения. Нужна полномасштабная процедура демultipлексирования, что препятствует эффективности и рентабельности расширения сервисов T1.

Большого из металлических линий извлечь не удалось. Тогда занялись оптоволоконными линиями. В начале 1980-х гг. оптоволоконная технология применялась почти исключительно лишь для реализации скорости D-3 (~ 45 Мбит/с). По одномодовому волокну с помощью временного уплотнения TDM переносилось несколько потоков D-3. При этом чаще других применялась скорость передачи 565 Мбит/с (это уровень E-5). Самую большую проблему составлял тот факт, что как сами технологии, так и оборудование для их реализации принадлежали одному производителю. Это противоречит концепции открытости и препятствует внедрению.

В середине 80-х гг. XX в. компания Telecordia (США) предложила новую технологию передачи по оптоволоконным проводникам, которая получила название “Синхронная Оптическая Сеть” – SONET. Параллельно были согласованы иерархии скоростей в разных частях света. Их отличия хорошо видны по приведенной выше табл.8.1. За базовую скорость была принята скорость 51,84 Мбит/с, что соответствует уровню D-3 в металлических проводах. Это значит, что поток D-3 отображается в базовый поток SONET STS-1 и еще есть место для служебной информации.

Глобальный аналог стандартов SONET, охватывающий территорию всех континентов, известен как стандарт синхронной цифровой иерархии (SDN) (табл.8.2).

Таблица 8.2

Стандарты SDN

Уровень SONET	Скорость передачи данных	Уровень SDN
STS – 1	51,84 Мбит/с	
STS – 3	155,52 Мбит/с	STM – 1
STS – 12	622,08 Мбит/с	STM – 4
STS – 48	2,48832 Гбит/с	STM – 16
STS – 192	9,95328 Гбит/с	STM – 64
STS – 768	39,81312 Гбит/с	STM - 256

Обратите внимание: более высокие уровни в точности кратны основному и нижележащим, а базовая скорость STM – 1 соответствует скорости E - 4 для металлических проводов. Все это обеспечивает совместимость оптических сетей по всему миру. Кроме этого:

- SONET обеспечивает доступность полезной информации вплоть до уровня DS – 0 (64 кбит), не мешая манипуляциям ввода/вывода и кросс – соединениям;

- при организации сети в виде двунаправленного логического кольца она отличается повышенной устойчивостью к отказам;

- присутствие в сетях SONET служебных каналов передачи данных ресурсом 768 кбит/с (половина T1) приводит к сокращению эксплуатационных затрат операторов связи и повышению уровня сервиса. И, в завершение, SONET, по убеждению многих специалистов, может стать базой для разработки новой технологии – спектрального уплотнения (WDM – Wavelength- Division Multiplexing), которая обещает значительно сократить стоимость пропускной способности каналов.

Схема простого участка сети представлена на рис. 8.4.

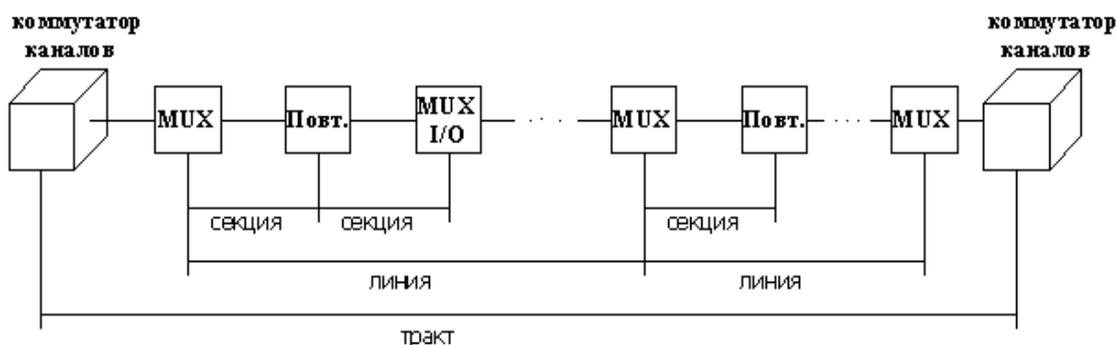


Рис.8.4. Участок сети SONET

Секция имеет длину от 38,6 км до 115,8 км. В соответствии с такой структурой сети протоколы Физического уровня модели ВОС/МОС для SONET превращаются в стек:

Уровень тракта	- формирование полезной нагрузки кадра
Уровень линии	- составление кадра STS - N
Уровень секции	- управление передачей
Фотонный уровень	- электрооптическое преобразование

Из многих современных источников, посвященных анализу сетей телекоммуникаций, известно, что потребность в пропускной способности к началу XXI века удваивалась через каждые 9 месяцев. В качестве причины такого явления называется рост применения информационных технологий в самых различных сферах человеческой деятельности.

И вновь конструкторская мысль обратилась к возможности “уплотнить” сигнал в имеющейся среде передачи. Но это - оптический волновой сигнал. Значит, можно применить аналог частотного мультиплексирования. Технология спектрального уплотнения – мультиплексирования с разделением длин волн (WDM) позволяет “объединять” хоть 100 потоков разных длин волн, лишь бы они уверенно различались. В разрабатываемых системах выбираются частоты потоков с одинаковым шагом порядка 50 ГГц. Сравнение “чистой” SONET с пропускной способностью STS – 48 (~ 2,5 Гбит/с) и оснащенной мультиплексором WDM – 100, обеспечивающей пропускание ~ 250 Гбит/с, очень впечатляет! Да и стоимостные оценки очень неплохие: прокладка 1 км подземной оптоволоконной трассы стоит от 50 до 150 тыс. ам. долларов в зависимости от природных условий, внедрение системы WDM – меньше 4 тыс. ам. долларов на тот же 1 км и в любых природных и погодных условиях.

У системы WDM есть проблемы, связанные с усилением сигналов и преобразованием оптика – электричество – оптика в мультиплексорах ввода/вывода. Но интервалы, через которые необходимо усиление, уже сегодня достигают 1000 км. Ведутся эксперименты на больших дистанциях до 5000 км. В разработках находятся мультиплексоры ввода/вывода на технологии формирования в сердцевине волоконного световода

дифракционной решетки, которая может вводить и выводить оптические сигнала разных длин волн. В общем, перспективы могут только радовать.

Вопросы для самопроверки:

1. Назовите состав аппаратного обеспечения сети, построенной по функциональному принципу: доступ, коммутация, передача?
2. Что не устраивает в передаче с использованием FDM?
3. В чем принципиальное отличие усилителя от повторителя?
4. Какая скорость передачи сигналов принята за базовый, нулевой уровень?
5. Как формируются кадр T1 и суперкадр T1?
6. Как построена линия T1, по какому критерию размещаются повторители?
7. Чем вызвана необходимость введения иерархии мультиплексирования?
8. Чем объясняется отсутствие кратностей в ступенях мультиплексора M1/3 и что устранило эту «несправедливость»?
9. Какие преимущества и перспективы дает синхронная оптическая сеть?
10. Как отражаются уровни модели ВОС/МОС в структуре сети SONET?
11. Чем объясняется выбор такого большого шага при назначении частот передачи в технологии спектрального уплотнения?

ТЕМА 9. КОММУТАЦИЯ И КОММУТАТОРЫ В ТЕЛЕФОННЫХ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ

Задачей коммутации является обеспечение обмена информацией в условиях отсутствия прямого канала связи между двумя телефонными станциями. Для этого каждая станция связана с коммутируемой сетью, по которой и доставляется информация.

Мы уже упоминали о коммутации каналов и коммутации пакетов. Первая устанавливает сквозное соединение между двумя станциями, формируя выделенный канал на время разговора. Плюсом такого соединения после его установления является отсутствие каких бы то ни было схемных задержек. В отличие от коммутации каналов, коммутация пакетов была разработана для обмена данными, она использует мультиплексирование с разделением времени и гарантирует меньшие или большие аппаратные задержки (на буферизацию, маршрутизацию).

Теперь уделим внимание функционированию и устройству коммутаторов каналов для сети общего пользования PSTN (Public Switched Telephony Network).

Коммутатор каналов должен выполнять следующие функции:

- предоставлять выделенный канал любой паре участков сети;
- принимать, сохранять и передавать сигнальную информацию, такую, как набранные цифры номера абонента, звонки, гудки или другие звуковые сигналы и записанные сообщения;
- с использованием сигнальной информации маршрутизировать и транслировать телефонные вызовы.

Сигнальная информация может передаваться по тому же каналу, что и сам разговор, как в суперкадре T1. Однако при использовании этого метода, известного под названием “внутриполосная сигнализация”, возникают проблемы. Поэтому в SONET и других сетях передача сигналов между коммутаторами, как правило, осуществляется по отдельному каналу.

Структурно коммутаторы состоят из коммутируемой сети, устройства управления и внешних (относительно самого коммутатора) интерфейсов, таких как абонентские линии и магистрали. Именно интерфейсы выполняют функции передачи информации между коммутаторами, а также между коммутатором и абонентом.

Устройство управления интерпретирует сигнальную информацию, выполняет функции маршрутизации и трансляции, а также указывает коммутируемой сети, как установить канал между интерфейсными блоками.

Коммутируемая сеть есть устройство, в котором устанавливается временное соединение на основе коммутации каналов. В настоящее время применяются коммутируемые сети двух типов: с пространственным разделением и с временным разделением. Коммутация с пространственным разделением выделяет для соединения станций отдельные двух- или четырехпроводные каналы. Такое разделение каналов «в пространстве» и

дало название этому типу коммутации, осуществлявшейся во времена ручного и электромеханического соединения абонентов. При использовании коммутации с разделением времени множество пар станций совместно используют канал связи в выделенные интервалы времени. Правда, аналоговый голосовой сигнал следует предварительно преобразовать в цифровую форму. Сегодня это уже не проблема.

Для реализации такого типа коммутации служит устройство – коммутатор временных интервалов TSI (Time Slot Interchanger). На рис. 9.1 изображена схема TSI, поддерживающего по шесть линий на входе и выходе.

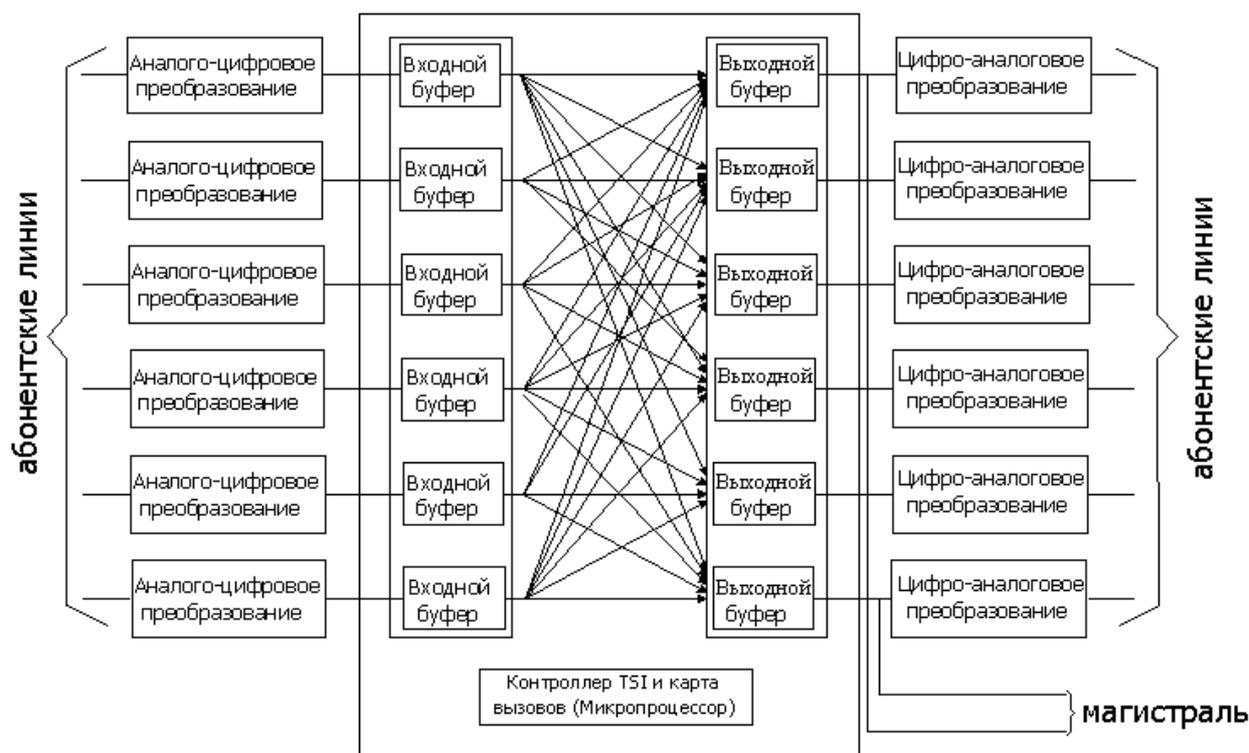


Рис. 9.1. Схема коммутатора TSI

Подключенные к TSI линии являются интерфейсами, осуществляющими АЦП и ЦАП. Собственно коммутатор включает входные и выходные буферы памяти, карту коммутации и микропроцессор управления. Сами преобразователи АЦП и ЦАП часто включаются конструктивно в коммутатор.

Коммутатор TSI оцифровывает голосовые сигналы в каждой входящей линии и помещает их во входной буфер каждого временного слота (число слотов равно числу линий). Затем микропроцессор в соответствии с картой коммутации направляет эти сигналы в выходные буферы, откуда они могут быть направлены в магистральные линии в цифровом виде или в абонентские, но в аналоговой форме. Число поддерживаемых коммутатором TSI линий не превышает 256, так как количество голосовых сигналов, чередующихся во временных слотах, именно такое. В противном случае нельзя сохранить непрерывность разговора.

В междугородных и международных линиях нагрузка на канал связи существенно больше. Поэтому приходится задействовать, кроме большого числа подобных коммутаторов, и механизм их соединения для обслуживания десятков тысяч линий. Устройством, реализующим такой механизм, является коммутатор с временным разделением TMS (Time Multiplexed Switch). Это – пространственный коммутатор, способный изменять свою конфигурацию 256 раз за время одного слота, т. е. за $1/8000$ с, для того, чтобы позволить парам коммутаторов TSI соединиться и обменяться между собой сигналами. Такая сложная функция возложена, конечно, на компьютер, а коммутация выполняется по программе.

Современные цифровые коммутаторы строятся с использованием TSI и TMS в качестве модулей в различном сочетании для создания высокоскоростной сети. Обычной схемой является временной – пространственно – временной коммутатор TST (Time-Space-Time), который использует последовательное соединение TSI-TMS-TSI. При этом TMS размещен между входным и выходным TSI со своими группами линий и транслирует сигнал от одного TSI к другому. Цифровые телефонные станции 5ESS (фирмы Lucent Technologies) и AXE (Ericsson) представляют собой TST – коммутаторы. А старшие модели Siemens – не что иное, как TSST- и TSSST- коммутаторы, работающие с сотнями тысяч линий.

Коммутатор семейства Catalyst компании Cisco Systems серии 5000 имеет модульную многоуровневую платформу коммутации. Она обеспечивает высокий уровень производительности и предоставляет возможность как для создания выделенных соединений в сети Ethernet со скоростями 10 и 100 Мб/с, так и для организации взаимодействия с сетями связи общего пользования (FDDI и ATM). Коммутируемая матрица позволяет коммутировать более 1 миллиона пакетов в секунду, а сам коммутатор может поддерживать до 96 коммутируемых портов 10 Base Ethernet и до 50 коммутируемых портов Fast Ethernet. Большой буфер (по 192 Кбайта на 1 порт) обеспечивает сохранение и передачу информации при пиковых нагрузках.

Модуль управления коммутацией Supervisor Engine поддерживает три уровня очередей пакетов с разными приоритетами, что позволяет эффективно обслуживать мультимедийный трафик.

Коммутаторы 5ESS (рис.9.2) предназначены для использования местными и междугородными АТС. Последняя модель 5ESS-2000 была представлена в середине 1990-х гг. и может поддерживать более 200000 линий при обработке 1 миллиона звонков в час. Платформа 5ESS-2000 использует модульную архитектуру с распределением функций между тремя типами модулей: один - административный, два (или более) коммутационных и один коммуникационный модуль. Процессор административного модуля является главным вычислительным устройством коммутатора и выполняет функции управления. Коммуникационный модуль С позволяет устанавливать каналы передачи речи между коммутационными модулями S. Это реализует

функцию TSM, когда два коммутатора TSI соединяются с разными коммутационными модулями самого 5ESS.

Цифровая станция 5ESS предлагает прямой интерфейс для линий передачи SONET/SDN и поддерживает мультимедийные сервисы, такие как телеконференция. С добавлением специальных модулей появится интерфейс с сетью IP.

Очевидной тенденцией в современной телефонной индустрии является переход от сетей с коммутацией каналов к сетям с коммутацией пакетов. Поэтому последняя разработка Lucent Technologies – система 7R/E включает шлюзы для преобразования между системами канальной и пакетной коммутации как собственно голосовой передачи, так и служебной сигнализации.

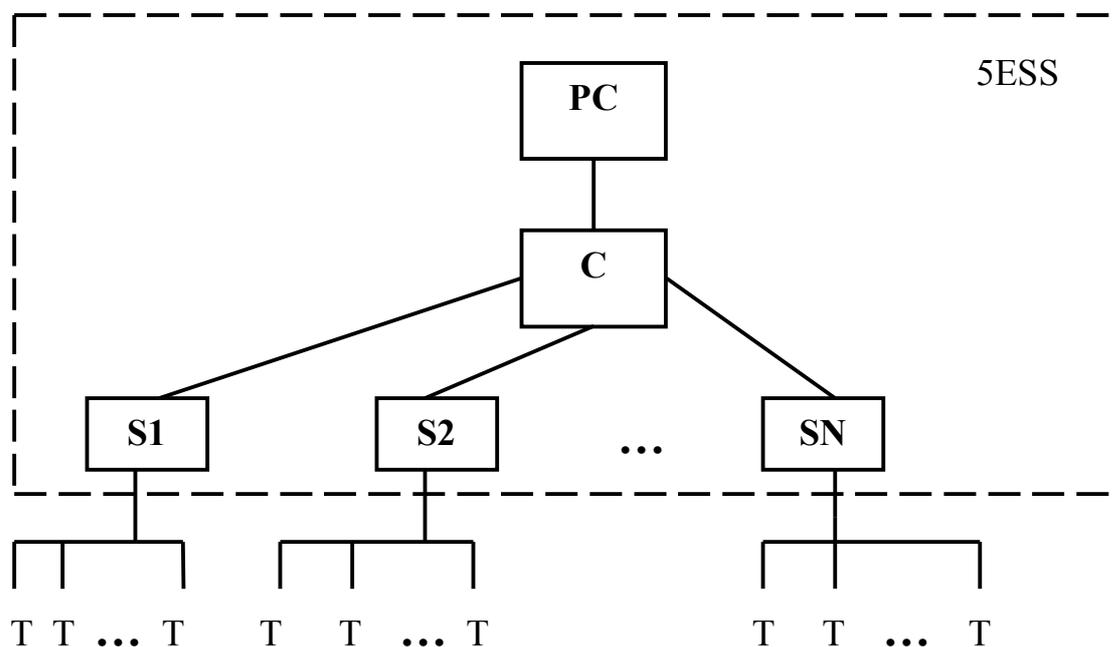


Рис.9.2. Схема соединения 5ESS и TSI

Существуют коммутаторы и других фирм, в том числе и отечественные, разработанные для ФАПСИ.

В настоящее время эксплуатируется целый ряд сетей, использующих коммутацию пакетов, а не каналов. Это сети на основе “Рекомендации X.25” от МККТТ:

- цифровая с интеграцией услуг ISDN;
- ретрансляции кадров;
- сеть технологии асинхронного режима передачи АТМ;
- всемирная “паутина” ИНТЕРНЕТ.

Краткий обзор некоторых из них будет предметом следующей темы.

Основой структуры многих сетей являются коммутаторы различного уровня. На рис. 9.3. приведена типичная структура современной сети компании или предприятия, реализованная на технологии коммутации.

Схема иллюстрирует главный принцип построения современных ЛВС – топология сети повторяет топологию информационных потоков. Разумное сочетание многопортового базового коммутатора А с коммутаторами рабочих групп (В и С) снижает цену системы и позволяет увеличить физическую протяженность сети, а подключение серверов в узлах потребления информации позволяет более равномерно распределить трафик по физическим линиям и предотвратить их перегруз. Подключение сетевого принтера к коммутатору отдела С предполагает, что именно этот отдел порождает большой трафик печати.

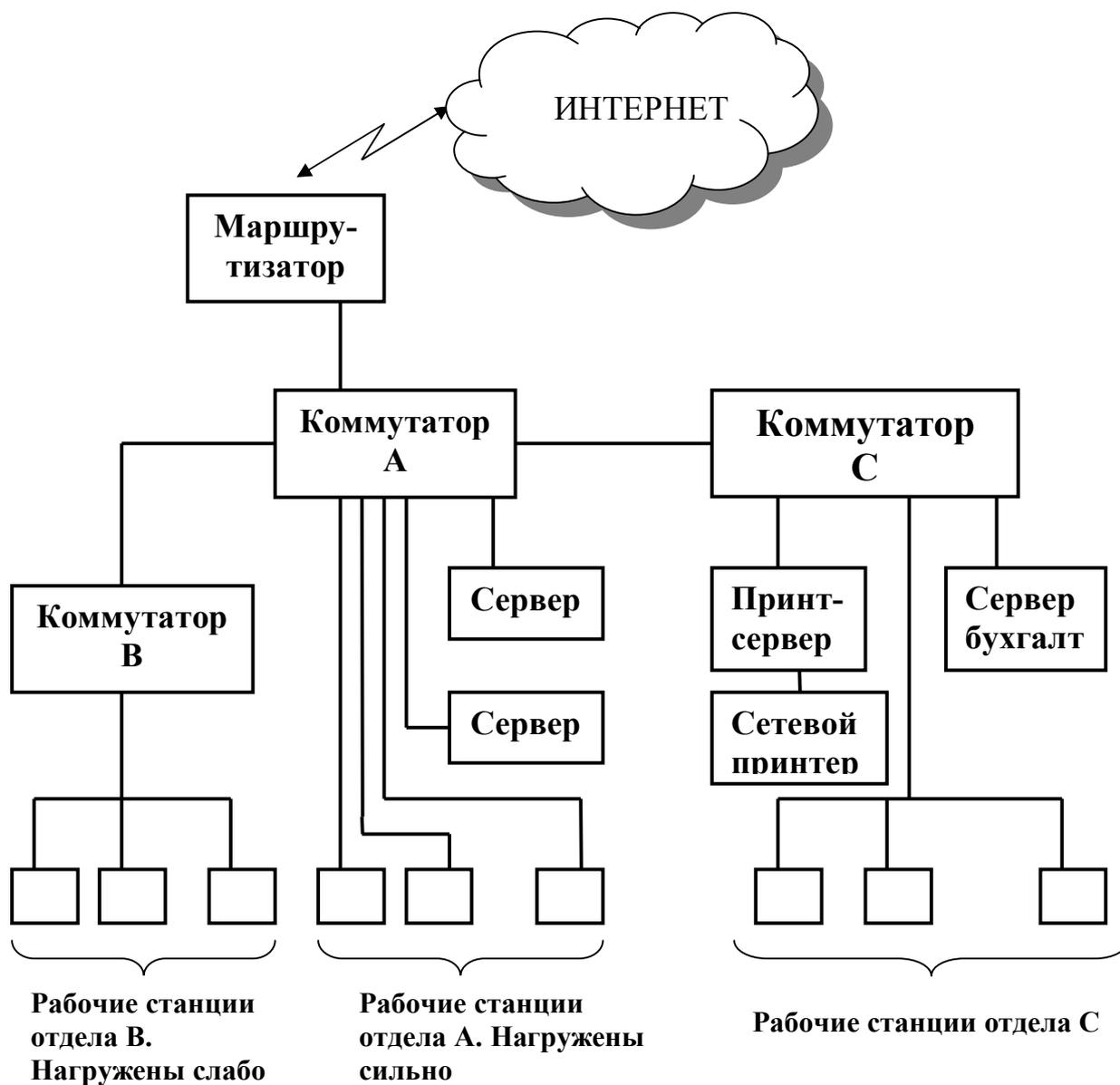


Рис. 9.3. Схема сети на коммутаторах

Вопросы для самопроверки:

1. Перечислите основные функции коммутатора каналов.
2. Опишите структуру коммутатора каналов.
3. Чем отличается коммутация с временным разделением от коммутации с пространственным разделением?
4. Как устроен и работает коммутатор TSI?
5. В чем идея TMS?
6. На базе модулей каких типов строятся современные телефонные станции?
7. Предложите схему коммутатора для города с населением 0,5 млн. жителей.
8. Что ограничивает число коммутаторов S в 5ESS?

ТЕМА 10. ТЕХНОЛОГИИ СЕТЕЙ ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

Принципы и соглашения, положенные в основу реализации той или иной сети, принято называть технологией сети. По наименованию принятой технологии часто называют и сами сети. Первой сетью, отличающейся глубиной и качеством проработки, стала **сеть общего пользования с коммутацией пакетов** по технологии **X.25**.

Стандарт «Рекомендация X.25» ратифицирован Международным Консультативным Комитетом по Телеграфии и Телефонии (МККТТ) в Женеве в 1976 г. Технология X.25 предназначена для организации надежной передачи данных по разветвленным территориально распределенным сетям на базе низко- и среднескоростных каналов невысокого качества. При этом обеспечивается достоверная (за счет необходимых повторов) и упорядоченная передача данных между каждой парой соседних узлов сети по всему маршруту следования пакета. «Рекомендация X.25» определяет двухточечный выделенный полнодуплексный интерфейс между пакетным и терминальным оборудованием пользователя (DTE) и оконечным оборудованием пользователя (DCE) в сети общего пользования. Это показано на рис.10.1.

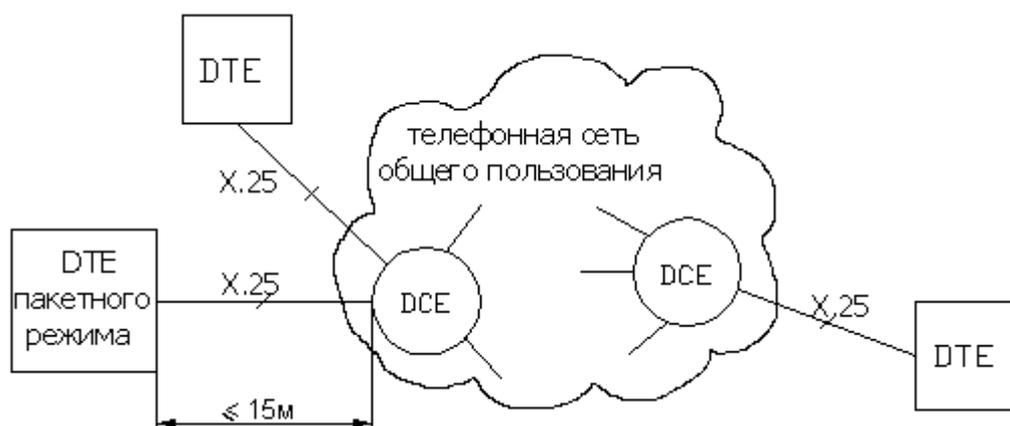


Рис.10.1. Организация сети X.25

Под DTE (Date Terminal Equipment) понимается устройство с аппаратными и программными возможностями, необходимыми для реализации трех уровней стека Протокол X.25, соответствующих трем нижним уровням модели ВОС/МОС, как показано в таблице. В качестве DTE может использоваться, например, персональный компьютер.

X.25	ВОС/МОС
X.25 PLP	3
LAPB	2
X.21/X.21 bis	1

На физическом уровне работают протоколы X.21 и X.21 bis (в США и Канаде). Доступные скорости передачи от 300 бит/с до 1,544 Мбит/с по линиям связи T1/E1. На канальном уровне реализуется протокол сбалансированной процедуры доступа к каналу связи LAPB (Link Access Procedure - Balanced). На сетевом уровне в X.25 принят протокол

уровня пакета X.25 PLP (Paket – Layer Protocol). Протокол PLP является статически мультиплексируемым протоколом, т. е. через один канал связи протокола LAPB может быть установлено одновременно множество виртуальных соединений, отличающихся друг от друга уникальным номером логического канала. Это означает, что один DCE в режиме разделения времени может обслужить несколько DTE.

Под DCE (Date Communication Equipment) понимается устройство связи с сетью (аппаратура передачи данных), например, модем, коммутатор пакетов или другой порт сети общего пользования. Максимальное расстояние между DTE и DCE составляет 15 м.

Обращает на себя внимание то обстоятельство, что “Рекомендация X.25” ничего не говорит относительно взаимодействия узлов DCE в сети общего пользования. Это, с точки зрения X.25, несущественно, важно лишь соблюдение внешнего относительно самой сети интерфейса.

Сквозная передача между устройствами DTE выполняется через двунаправленную связь, которая называется “виртуальная цепь”. Виртуальные цепи позволяют связывать различные узлы сети через любое число промежуточных узлов (как будет проложен маршрут) без назначения частей физической среды на весь сеанс, что характерно для физических, пространственных цепей. Диаграмма (рис.10.2) иллюстрирует процесс установления виртуального соединения X.25 и его разъединения после завершения обмена.

Порядок действий при этом следующий:

- 1) DTE вызывающей стороны (например, отправитель) посылает пакет запроса соединения своему локальному DCE с адресом вызываемой стороны (например, получателя) и свободным номером логического канала;
- 2) устройство DCE локальное включает в пакет запроса адрес вызывающей стороны и передает его по сети;
- 3) пакет запроса соединения появляется из сети у получателя как пакет входящего вызова от DCE, удаленного относительно получателя, к вызываемому DTE (адресату);
- 4) если вызываемая сторона не возражает против установления контакта, она принимает вызов и отправляет вызывающей стороне (отправителю) пакет принятия вызова. При этом используется тот же номер логического канала, что и в пакете входящего вызова;
- 5) вызывающая сторона узнает о принятии вызова от “своего” локального DCE в виде извещения об установлении соединения под ею же заданным номером логического канала. На этом заканчивается фаза установления соединения и начинается фаза передачи данных;
- 6) в процессе передачи данных стороны обмениваются данными и сигнальной информацией (интерфейс X.25 является дуплексным),

- возможно, с применением пакетов управления потоком данных для предотвращения потери данных;
- 7) по окончании передачи одна из сторон (для определенности пусть это будет вызывающая сторона) инициирует процесс разрыва виртуального соединения путем направления пакета с запросом на разъединение логического канала;
 - 8) локальное DCE осуществляется отсоединение “своего” DTE, направляет ему подтверждение об этом и передает запрос вызываемой стороне;
 - 9) пакет запроса разъединения поступает из сети как пакет индикации разъединения с вызывающей стороной;
 - 10) вызываемая сторона отвечает “своему” локальному DCE пакетом подтверждения. На этом связь считается завершенной.

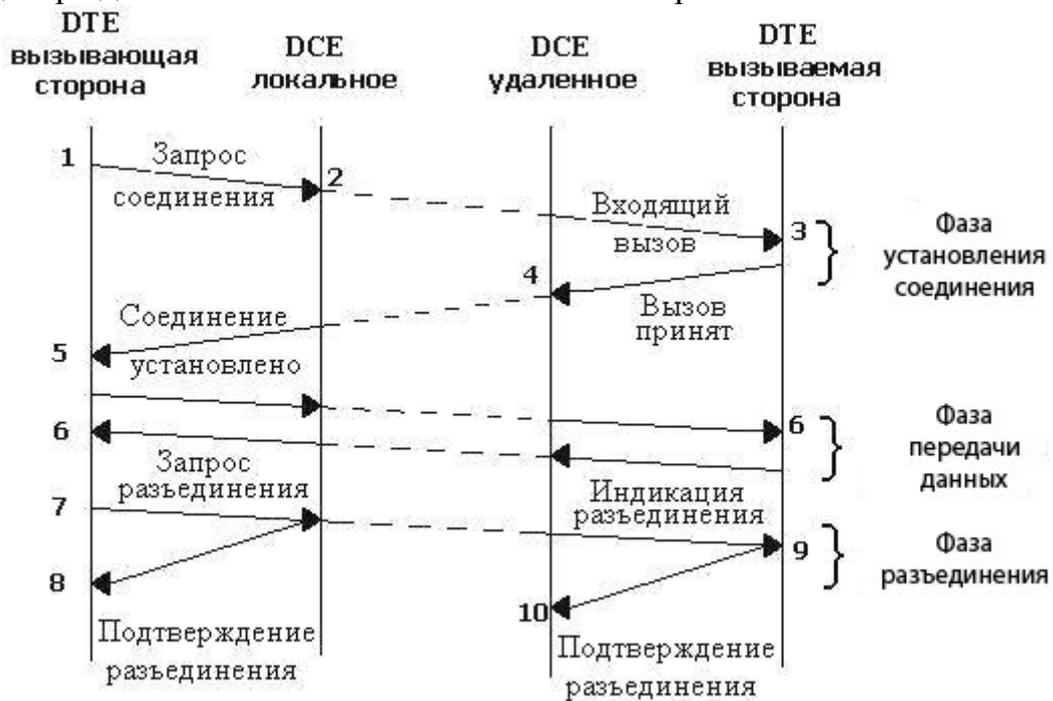


Рис. 10.2. Диаграмма установления и разрыва виртуального соединения X.25

Описанный процесс соответствует типу сервиса X.25, который называется “коммутируемый виртуальный канал” (SVC). В большинстве сетей общего доступа существует и другой тип сервиса - “постоянный виртуальный канал” (PVC). При этом он предоставляется оператором сети, обычно через несколько суток, но не требует посылки пакетов – запросов на установление соединения и его разрыв (соединение используется только непосредственно для обмена).

На сегодня накоплен большой опыт использования сетей технологии X.25. Он убедительно показывает, что сети на X.25 эффективны для широкого круга задач передачи данных: обмен сообщениями, обращение большого числа пользователей к удаленной базе данных, связь локальных сетей, организация сетей кассовых аппаратов или банкоматов и многое другое. Везде, где трафик сети не является равномерным во времени.

Для объединения локальных сетей в узлах, подключенных к сети X.25, применяются методы инкапсуляции пакетов информации из локальной сети в пакеты X.25. Стандартный механизм инкапсуляции позволяет передавать различные протоколы локальных сетей через одно виртуальное соединение одновременно. Этот механизм реализован практически во всех современных маршрутизаторах. Таким образом, сети X.25 предлагают универсальный транспортный механизм для передачи информации между практически любыми приложениями. При этом разные типы трафика передаются по одному каналу связи, ничего не “зная” друг о друге.

Важным достоинством сетей по технологии X.25 является возможность передачи данных по каналам телефонной сети общего пользования как выделенным, так и коммутируемым, с максимальными для этих каналов скоростью и достоверностью. Еще одним плюсом сети X.25 является механизм альтернативной маршрутизации. Возможность задания альтернативных маршрутов в дополнение к основному предусмотрена в оборудовании для X.25 практически всех фирм, его выпускающих. Переход к запасному маршруту происходит либо в случае полного отказа одного из звеньев основного маршрута, либо динамически в зависимости от загруженности всех возможных маршрутов. Если между парой точек подключения к сети существует более одного маршрута, надежность работы сети значительно возрастает.

К началу XXI в. в мире насчитывались десятки сетей X.25 общего пользования. Их узлы расположены практически во всех крупных деловых, промышленных и административных центрах. В России услуги X.25 предлагают Роснет, Infotel и ряд других компаний. Для подключения к любому ресурсу сети X.25 пользователю достаточно иметь компьютер с последовательным асинхронным портом и модем.

В настоящее время принято считать, что сети X.25 медленны, дороги и вообще устарели. Действительно, практически не существует сетей X.25, работающих на скорости, большей 128 кбит/с. Объясняется это в частности тем, что протокол X.25 включает мощные средства коррекции ошибок, обеспечивая передачу данных без искажений даже на линиях плохого качества. Сегодня в России, к сожалению, каналов хорошего качества нет практически нигде. Понятно, что за надежность связи приходится платить быстродействием оборудования сети и сравнительно большими, хотя и предсказуемыми, задержками распространения информации. В целом, на линиях невысокого качества сети X.25 вполне эффективны и дают значительный выигрыш по цене и возможностям в сравнении с выделенными линиями даже с учетом невозможности передачи голоса и видео по сети X.25.

Сетевая топология передачи данных, позволившая объединить передачу речи и неголосовые сервисы, появилась в 1984 г. Она завершила переход от полностью аналоговой сети к полностью цифровой, которая называется – **цифровая сеть связи с интеграцией услуг ISDN (Integrated Services Digital**

Network). Она сама является промышленным стандартом (это гарантирует совместную работу оборудования разных производителей) и основана на рекомендациях МККТТ серий I-, Q-, и E -. Например, рекомендации I.430 и I.431 определяют два различных физических интерфейса ISDN, Q.931 определяет процедуры управления вызовами сетевого уровня модели ВОС/МОС интерфейса “пользователь - сеть”, E.401 – E.880 обеспечивают качество сервиса и сетевое управление.

Одним из основных элементов любой коммуникационной системы являются линии связи. В ISDN применяются несколько принципиально различных типов линий связи, или интерфейсов. В их число входят: аналоговые линии связи, цифровые линии связи и два специфических типа интерфейсов, предназначенных для связи центральных узлов сети между собой и с периферийными узлами сети.

Центральные узлы – это цифровые ISDN-станции, периферийные узлы – это внешние устройства сети – абоненты центральных узлов, занимающиеся преобразованием форматов и протоколов внесетевых абонентов – пользователей. Схема соединений в сети ISDN представлена на рис. 10.3.

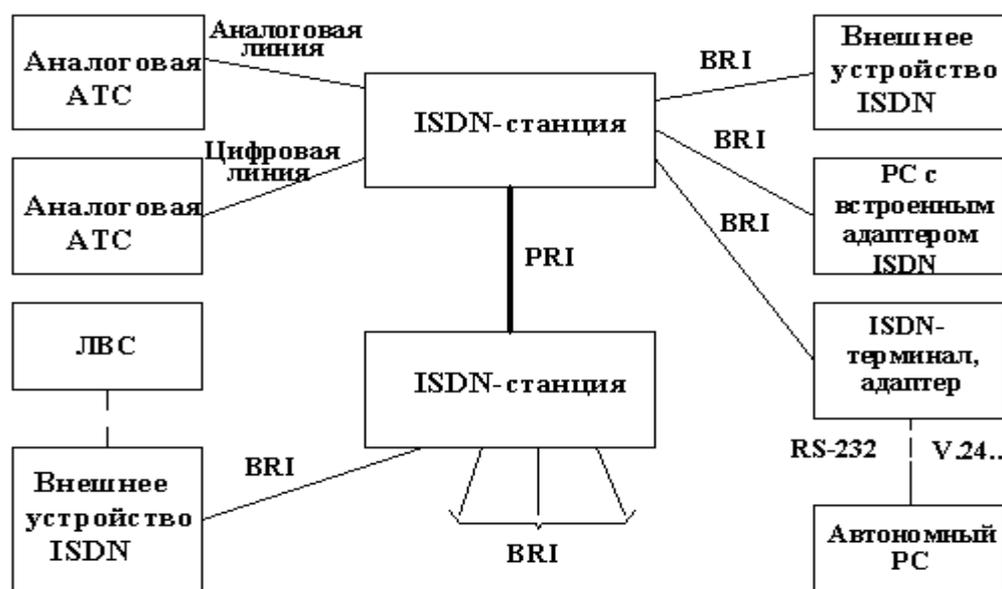


Рис.10.3. Сеть ISDN

По составу участников сети уже видна функция интеграции услуг. Но для этого дополнительно к известным аналоговому и цифровому потребовались специальные интерфейсы: интерфейс базового уровня (Basic Rate Interface) и интерфейс первичного уровня (Primary Rate Interface). Первый регламентирует соединение ISDN-станции с абонентом, второй обеспечивает связь между ISDN-станциями. (Вспомните, как АТС соединялись с абонентами по абонентским линиям, а между собою – по магистральным). Логически BRI представляет собой особым образом структурированный цифровой поток, разделенный на три канала: два информационных и один служебный. Информационные каналы (в терминологии сети ISDN – каналы

типа В) имеют пропускную способность 64 кбит/с каждый, служебный (канал типа D) - 16 кбит/с. При использовании BRI для организации удаленного доступа к ЛВС или отдельному РС по В-каналам идет обмен данными. При этом по одной линии BRI можно передавать два независимых потока сообщений: каждый по своему В-каналу.

По каналу типа D передается служебная информация – сигналы вызова, маршрут звонка, номера соединяемых абонентов... Протокол обмена сигналами D-канала охватывает три нижних уровня модели ВОС/МОС, что и зафиксировано в Рекомендации МККТТ I.430.

Сами ISDN-станции (коммутаторы ISDN) соединяются магистралями интерфейса первичного уровня PRI. Логически PRI построен аналогично BRI: некоторое количество (естественно, больше двух) В – каналов и один D – канал. Используемое число В - каналов определяется региональными стандартами. Так, в США и Японии – зоне действия стандарта T1, это 23, а в Европе стандарт E1 требует 30 В – каналов. Для обслуживания возросшего потока информации необходимо большее количество сопровождающих служебных сигналов. Поэтому в PRI пропускная способность D – канала увеличена до 64 кбит/с. Протоколы обмена на уровне PRI прописаны в Рекомендации МККТТ I.431.

Технология ISDN позволяет “заказывать” пропускную способность через интерфейс сети ISDN. Такая возможность называется формированием канала $N \times 64$ кбит/с, где $2 < N \leq 24$. Этот “заказ” делается при инициации вызова.

Теперь познакомимся с набором оборудования, применяемого для строительства сети ISDN, и способами его соединения.

От станции, ISDN – коммутатора к любому своему абоненту можно направить (или принять) информацию только через оконечное сетевое оборудование – устройство сетевого завершения типа 1- NT1(Network Terminator Type 1). Оно обычно располагается у клиента и обеспечивает соединение с ISDN – станцией. Спецификации (точный перечень того, что следует делать, без указания - как) для взаимодействия функциональных элементов сети в ISDN - технологии принято называть “опорными точками”. Между NT1 и ISDN-станцией размещается опорная точка U. По другую сторону NT1, как показано на рис. 10.4, могут находиться различные устройства. Они могут быть как ISDN – совместимыми, так и несовместимыми.

К оборудованию, совместимому с ISDN – сетью, относятся:

- оконечное сетевое оборудование типа 2 – NT2. Это может быть, например, мультиплексор;
- оконечное оборудование пользователя типа 1 – TE1 (Terminal Equipment Type 1). Это может быть специальный телефонный аппарат или РС со встроенным адаптером.

К оборудованию, не совместимому с ISDN – сетью, можно отнести любые технические средства (одиночные или целые комплексы), не оснащенные преобразователями в форматы ISDN – сети. Это может быть

аналоговый телефонный аппарат, автономный РС, корпоративная сеть или отдельная ЛВС - все они относятся к оконечному оборудованию пользователя типа 2- TE2. Для его подключения необходимо применить терминальный адаптер ТА (Terminal Adapter), который конвертирует протокол пользователя в протокол сети. Естественно, ТА не может быть универсальным.

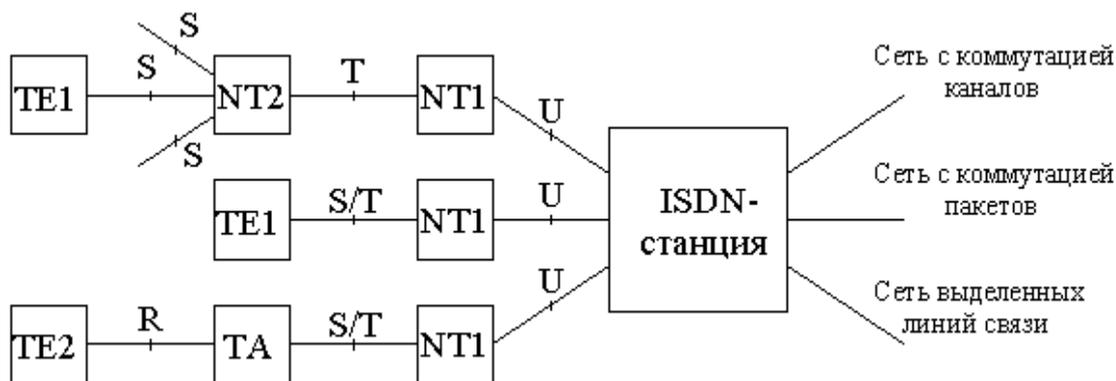


Рис. 10.4. Подключение к сети ISDN

Оборудование ТА, NT1 и NT2 в необходимых сочетаниях может быть выполнено в одном конструктиве – внешнем устройстве ISDN.

Соединение каждой пары единиц оборудования описывается спецификациями опорных точек. Так, опорные точки S и T определяют границу между пользовательским и сетевым оборудованием. Выбор S или T зависит от оборудования пользователя. Для подключения к ТА также необходимы правила, выражающиеся в спецификации опорной точки R. Это позволяет подключать огромное количество существующего оборудования к сети ISDN, где реализуются три нижних уровня модели ВОС/МОС с протоколами по рекомендациям Q.920 и Q.931.

ISDN явилась революционной для своего времени концепцией для интеграции множества услуг, предлагаемых через один интерфейс. Интерфейс BRI широко используется для организации видеоконференций и доступа в Интернет. Интерфейс PRI также часто выбирается провайдерами Интернета в качестве окончания коммутируемых соединений. И все же сеть ISDN часто не является ни более дешевым, ни более скоростным сервисом. Уже сегодня многие клиенты предпочитают пользоваться кабельной телефонией.

Одной из сетей, предоставляющие такие услуги, является сеть **Frame relay**. Ее история начинается с 1991 г. Frame, или кадр, - это сообщение, содержащее всю необходимую информацию для его идентификации. Поэтому сеть Frame relay есть сеть передачи, ретрансляции данных кадрами. Основным режимом работы сети является так называемый дейтаграммный режим. В этом режиме кадры передаются по сети независимо друг от друга, и порядок их получения может не совпадать с последовательностью их

отправления за счет маршрутизации или отбрасывания из-за ошибок передачи. Но это создает и некоторые преимущества сети Frame relay, особенно в сочетании с ее низкой протокольной избыточностью: высокую пропускную способность и небольшие задержки кадров.

Ретрансляция кадров описывает базирующийся на стандартах интерфейс между пользовательским оборудованием и глобальной вычислительной сетью (ГВС), основанной на виртуальных каналах. Узлы ретрансляции кадров осуществляют минимальную проверку принятого кадра и транслируют его в направлении получателя. Если при обработке кадра в узле возникают какие-либо проблемы, кадр отбрасывается.

Стандарты ретрансляции кадров определяют интерфейс с ГВС и между сетями. Основы ретрансляции кадров изложены в Рекомендациях МККТТ I.122 и I.123. В целях гарантии совместимости оборудования, применяемого в сети, промышленная группа Frame relay Forum (FRF) разработала набор соглашений по ретрансляции кадров. В этот набор входят соглашения по реализации:

- интерфейса “пользователь - сеть”, FRF.1.1;
- интерфейса “сеть- сеть”, FRF.2.1;
- сервиса клиентского сетевого управления, FRF.6;
- передачи голоса, FRF.11;
- определений уровня обслуживания, FRF.13;
- интерфейса Физического уровня, FRF.14;

всего 16 документов.

Ретрансляция кадров была разработана для расширения возможностей коммутации пакетов интерфейса X.25 для сети ISDN. Она обеспечивает сервис виртуальных каналов, поддерживает как постоянные, так и коммутируемые виртуальные каналы. Сегодня уже предлагается и третий тип сервиса, объединяющий первые два, – “программный” или “коммутируемый” постоянный виртуальный канал. Он сочетает простоту использования SVC с надежностью PVC.

Для каждого виртуального соединения определено несколько параметров, влияющих на качество обслуживания:

- 1) скорость доступа R (Rate). Это скорость передачи данных канала доступа в битах за секунду. Изменяется в широких пределах от 56 кбит/с до 600 Мбит/с. Основные варианты для выделенных линий – T1 (1,44 Мбит/с), а при высоких скоростях – E3 (155 Мбит/с);
- 2) согласованная скорость передачи CIR (Committed Information Rate). Величина скорости передачи данных пользователя, которую сеть обязана поддерживать при обычных условиях. Она, конечно, не может превышать скорость доступа и определяется в соглашении на предоставление услуг сети;
- 3) дополнительная скорость передачи информации EIR (Excess Information Rate) – количество битов в секунду, которое сеть попытается передать при нормальных условиях. Эта “добавка” может

- быть обеспечена только за счет разности скорости доступа канала и согласованной скорости передачи;
- 4) согласованный размер посылки V_c (Committed Burst Size) – максимальное количество битов, которое сеть обязуется передавать за согласованное время T_c ;
 - 5) дополнительный объем посылки V_e – максимальное количество битов сверх согласованного, которое сеть попытается доставить за согласованное время T_c ;
 - 6) согласованный интервал времени для измерения скорости передачи данных T_c .

Естественно, согласованные параметры связаны соотношением:

$$CIR \times T_c = V_c.$$

Сам факт наличия согласования значений параметров качества обслуживания говорит о возможности пользователя заказать то, что ему больше подходит, а не то, что дают.

Если при заключении соглашения на предоставление услуг зафиксированы значения CIR , T_c и V_c , а размер посылки – их производная, то реакция сети на поведение пользователя может быть представлена так (рис.10.5): $V_c = CIR \times T_c$.

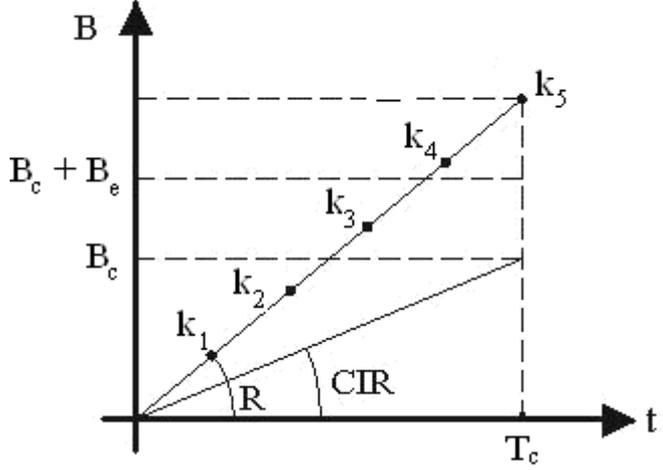


Рис. 10.5. Поведение сети Frame Relay при нарушении пользователем соглашения на предоставление услуг

За время T_c пользователь посылает кадры k_1, k_2, \dots, k_5 со скоростью $R > CIR$. При этом кадры k_1 и k_2 будут переданы получателю с гарантией, кадр k_3 – без гарантии, а кадры k_5 и k_4 будут точно удалены.

Чтобы отличать кадры гарантированной доставки от кадров с доставкой без гарантии, сеть помечает их признаком DE (Discard Eligibility) – возможно удаление при значении $DE = 1$.

Кадры сохраняются и доставляются адресату, если коммутаторы сети не испытывают перегрузки. Это наблюдается при объеме передачи, не превышающем $(V_c + V_e)$. В противном случае кадр не помечается, а сразу удаляется, что и произойдет с кадрами k_4 и k_5 .

Еще раз подчеркнем, что необходимые параметры должны быть согласованы для каждого отдельного PVC в канале доступа. Что касается превышения CIR (как в рассмотренном примере), то это возможно только в силу пульсирующей природы трафика. Чем продолжительнее интервалы между посылками, тем лучше условия для превышения согласованной скорости, так как мала вероятность достижения уровня CIR во всех каналах PVC одновременно.

Пользователь может заказать включение не всех параметров качества обслуживания, а лишь некоторых. Так, если использованы только CIR и B_c , то коммутатор никогда не отбросит кадры сразу, но пометит потенциально удаляемые признаком $DE = 1$. Если в сети нет перегрузки, то кадры такого канала всегда доходят до адресата, даже если пользователь постоянно нарушает договор с сетью. Логическим пределом такой ситуации стала с 1994 г. возможность заказа уровня $CIR = 0$. При этом все передаваемые в сеть кадры отправляются со скоростью выше CIR, помечаются как возможные для отбрасывания и доставляются по адресу в 99 % случаев. При таких результатах величина CIR вообще не имеет значения.

Обычно доступ к сети осуществляют каналы с достаточно большой пропускной способностью. Но пользователь платит только за согласованные параметры CIR, B_c и B_e . Так, при использовании канала доступа T1 и заказа службы со скоростью $CIR = 128$ кбит/с пользователь будет платить только за скорость 128 кбит/с, а скорость канала 1,544 Мбит/с будет влиять на верхнюю границу размера посылки ($B_c + B_e$).

Набор оборудования включает устройства доступа к сети FRAD (Frame Relay Access Device), маршрутизаторы и коммутаторы – узлы самой сети. Устройства FRAD используются, в основном, для соединения небольших ответвлений в корпоративных сетях. Они являются недорогими, но мощными устройствами, поддерживают трафик ЛВС, передачи речи и многие существующие протоколы. Именно последнее делает выгодным их применение в качестве сетевых окончаний. Маршрутизаторы поддерживают большой набор протоколов маршрутизации и рассматривают ретрансляцию кадров всего лишь как другой тип интерфейса глобальной сети.

Производителей устройств FRAD и маршрутизаторов много, различий между ними – мало. Поэтому при выборе производителя руководствуются стоимостью и/или необходимостью сопряжения с уже существующим оборудованием (прежде всего, по поддерживаемым протоколам). Технология ретрансляции кадров создала огромный рынок для производителей коммутаторов. Основными производителями являются компании Alcatel, Cisco, IBM, Lucent, Siemens.

Технология ретрансляции кадров распространяется с высокой скоростью. По этому показателю она занимает первое место в индустрии телекоммуникаций.

Вопросы для самопроверки:

1. Что такое “технология сети”, в чем состоит технология сети с коммутацией пакетов X.25?
2. Каковы требования к DTE и DCE?
3. Опишите процедуру установления соединения между абонентами сети X.25 по коммутируемому виртуальному каналу (SVC).
4. Каково отличие постоянного виртуального канала (PVC) от коммутируемого?
5. Области приложений сети X.25, ее преимущества и недостатки.
6. Чем принципиально ISDN отличается от своих предшественниц?
7. За счет чего в ISDN обеспечивается интеграция услуг?
8. Какова логическая структура интерфейсов соединения узлов сети ISDN?
9. Построение сети ISDN, опорные точки сети.
10. Что стимулировало появление сети Frame relay, каково ее назначение?
11. Какова правовая база сети Frame relay?
12. Параметры качества обслуживания в Frame relay и связь между ними.
13. Какова реакция сети Frame relay на несоблюдение пользователем оговоренных значений параметров качества обслуживания?

ТЕМА 11. МОБИЛЬНЫЕ ТЕЛЕСИСТЕМЫ

С момента первой передачи речи и музыки по радио в 1905 г. (Реджинальд Фессенден, США), десять лет спустя после эксперимента с грозоотметчиком А.С. Попова, распространение радиоволн в атмосфере, ионосфере и других средах хорошо изучено. Главной особенностью использования радио для связи двух абонентов явилась возможность одного из них (или обоих) перемещаться в пространстве, т. е. быть мобильным. В рассматриваемых прежде системах ни разу не возникало речи о такой возможности. Но она же доставила разработчикам систем много дополнительных забот.

Если на заре радиовещания старались вложить в передатчик максимальную мощность и поднять его антенну как можно выше над землей для увеличения дальности приема, то зародившаяся в 1940-е гг., детально разработанная в 1960-х гг. и появившаяся на рынке услуг связи в 1980-х гг. сотовая связь изменила старую философию.

Принципиальные отличия составили:

- низкая мощность передатчиков в небольших зонах уверенного приема их сигналов;
- разбиение области охвата на соты с целью повышения пропускной способности сети;
- передача вызова между сотами (как эстафетной палочки) и централизованное управление;
- повторное использование частот из выделенной полосы.

Ранее уже отмечалась необходимость международного и государственного регулирования частотного диапазона и использования его в интересах различных служб и ведомств. Поэтому двух- и более кратное применение одной и той же частоты существенно расширяет площадь охвата сети.

Итак, небольшие зоны уверенного приема передатчиков малой мощности были названы “сотами”. Каждая из них имеет радиус 10-30 км, оснащена своим базовым передатчиком малой мощности, работающим на частоте (частотах), отличных от частот в пограничных сотах. С уменьшением зоны охвата появилась возможность повторного применения частот передачи в сотах, не имеющих общих границ. А это равносильно увеличению количества каналов связи для обслуживания абонентов сети. В первых схемах повторного использования частот в сотах задействовались базовые передатчики, имеющие круговую диаграмму направленности своих антенн. Существуют схемы для семи и для девяти сот. Первая из них показана на рис. 11.1.

Круговая диаграмма направленности означает передачу сигнала одинаковой мощности по всем направлениям (как круги на воде от брошенного камня). Это гарантирует абоненту прием помех со всех сторон.

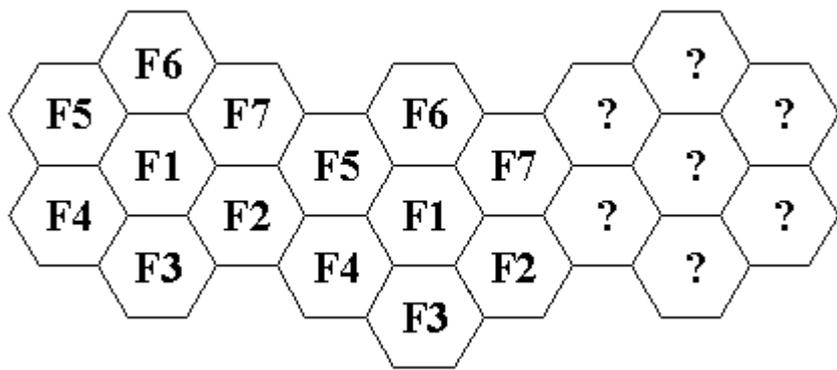


Рис.11.1. Схема для семи сот

Метод противодействия этим помехам – использование антенн с секторной диаграммой направленности. Если на передатчике установить 3 секторные антенны по 120°, то можно построить самую распространенную схему повторного использования частот для трех сот из девяти частот, так как частоты в каждом секторе различны. Эта схема выглядит так (рис.11.2):

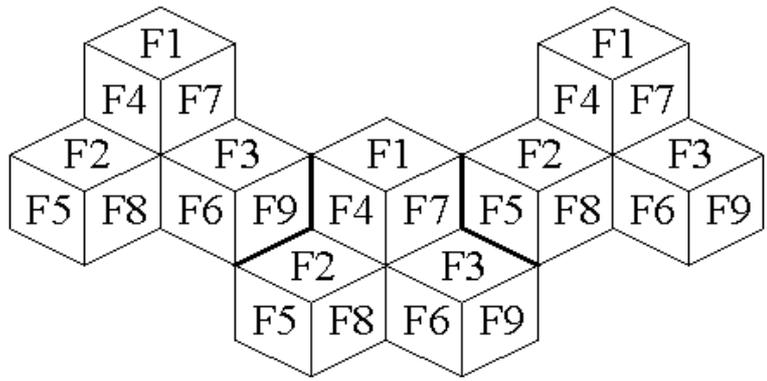


Рис.11.2. Схема для трех сот повторного использования частот

Есть схема и для двух сот, разработанная фирмой Motorola, работающая на секторных антеннах в 60° и группе из 12 частот.

Несмотря на все ухищрения этого подхода, емкость существующих систем сотовой связи либо насыщена, либо практически насыщена. Создание дополнительной пропускной способности каналов связи явилось основной движущей силой перехода от аналоговых к цифровым технологиям. В индустрии беспроводной связи применяются следующие технологии уплотнения каналов:

а) множественный доступ с частотным разделением каналов FDMA (впоследствии из этой технологии вырос известный метод множественного доступа с контролем несущей и обнаружением столкновений). Весь канал “нарезается” на полосы в 30 кГц, в пределах которых реализуется симплексный режим. Для полнодуплексного обмена необходимо два канала, причем они должны быть изолированными;

б) множественный доступ с временным разделением в пределах каждой полосы в 30 кГц. Также уже известная технология временного

мультиплексирования TDMA. Часто сочетается с FDMA. Временной слот выделяется по запросу абонента;

в) множественный доступ с кодовым разделением каналов (CDMA) принципиально отличен от первых двух. Абонент имеет в своем распоряжении всю полосу канала (1,25 МГц вместо 30 кГц) в течение всего времени, а не только одного слота. Если одновременно работают много абонентов, посланные ими сигналы смешиваются в канале связи, что на первый взгляд серьезно затрудняет прием сообщений. Но это впечатление обманчиво: во-первых, в “шуме” легче “спрятаться”, во-вторых, знающие код могут на другом конце канала связи алгоритмически отфильтровать нужную передачу. Эта технология не только увеличивает пропускную способность, обеспечивает большую безопасность, но и доставляет лучшее качество связи.

Схематическое изображение этих технологий приведено на рис.11.3.

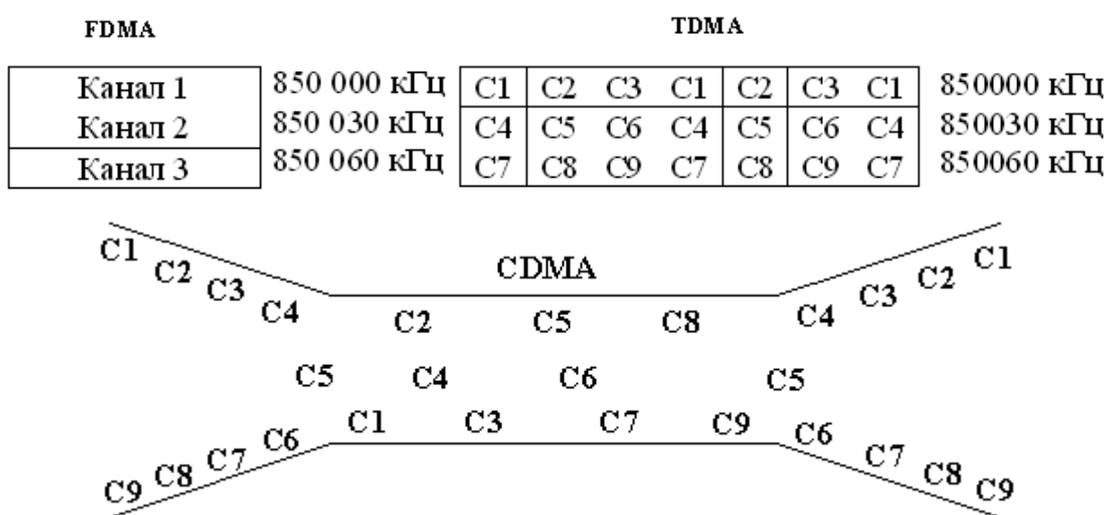


Рис. 11.3. Технологии уплотнения канала

К настоящему времени разработано три основных стандарта цифровых сетей сотовой мобильной связи: общеевропейский стандарт GSM (Global System for Mobile Communications), американский стандарт ADCS (American) и японский JDCS (Japan Digital Cellular System). В них сходства больше, чем различий, так как построены они на единых принципах и концепциях GSM. Это хорошо показывает табл. 11.1.

Таблица 11.1

Стандарты мобильной связи

Характеристика стандарта	GSM	ADCS	JDCS
1	2	3	4
1. Метод доступа	TDMA	TDMA	TDMA
2. Полоса частот в одном канале, кГц	200	30	25
3. Количество речевых каналов (слотов)	8	3	3

Окончание табл. 11.1

1	2	3	4
4. Скорость преобразования речи, кбит/с	13	8	11,2
5. Скорость передачи по каналу, кбит/с	270	48	42
6. Эквивалентная полоса частот на речевой (аналоговый) канал, кГц	25	10	8.3
7. Рабочий диапазон частот, МГц	890-915 935-965	824-840 869-894	810-826 940-956
8. Радиус соты, км	0,5 – 35,0	0,5 – 20,0	0,5 – 20,0

Все стандарты обеспечивают взаимодействие цифровых мобильных сетей с другими общественными сетями, например ISDN и PSTN, и гарантируют высокое качество передачи.

Стандарт GSM гарантирует предоставление следующих услуг: предоставление связи, передача данных, передача факсимильных сообщений (при наличии адаптера), а также услуги по осуществлению роуминга и поддержке сервиса отправки коротких (до 160 символов) сообщений SMS (Short Message Service). Для увеличения продолжительности работы аккумулятора мобильные телефоны стандарта GSM работают в режиме прерывистого приема: пока диалога нет, приемник не запитан; с возобновлением диалога питание приемника включается.

Соответствие уровней стандарта GSM и модели ВОС/МОС можно проследить по табл. 11.2.

Как и в сетях, рассмотренных ранее, в сети GSM выполняются протоколы подуровней трех нижних уровней модели ВОС/МОС.

Рассмотрим структуру сети мобильной связи и функционирование элементов такой сети. Структурная схема мобильной сети стандарта GSM представлена на рис. 11.4.

Таблица 11.2

Стандарт GSM и уровни модели ВОС/МОС

Уровни ВОС/МОС	Уровни GSM	Назначение
1	2	3
7		Пользователи (речь, данные)
6		
5		
4		Кабельные сети

1	2	3
3	Установка вызова ----- Управление подвижной связью Управление радиоресурсом	Сети GSM
2	Пакетирование сообщений ----- Тестирование канала связи	
1	Помехоустойчивое кодирование Формирование логических каналов ----- Модуляция, переключение частот	

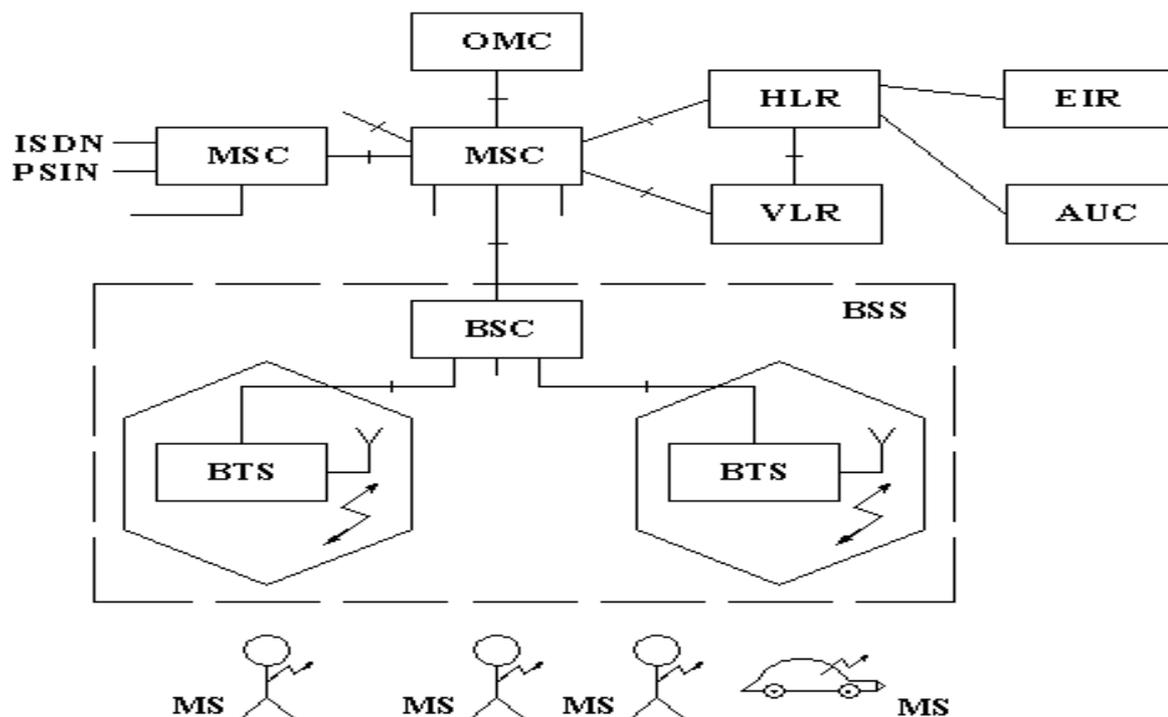


Рис.11.4. Структура сети стандарта GSM

Центром всей композиции является центр коммутации мобильной связи MSC (Mobile Switching Centre). Он связан с другими такими же центрами и

со “своими” базовыми станциями BSS (Base Station System) для взаимодействия с подвижными станциями MS абонентов (Mobile Station). Работой сети управляет центр управления и обслуживания ОМС (Operation and Maintenance Centre). HLR, VLR, EIR – базы данных, используемые при опознании MS в центре аутентификации AUC. Базовая станция системы состоит из элементов двух типов: один контроллер базовой станции BSC (Base Station Controller) и одна или несколько базовых трансиверных станций BTS (Base Transceiver Station), оканчивающихся одной или группой антенн каждая. Именно BTS определяет зону покрытия, т. е. размер соты. Ее функция состоит в том, чтобы поддерживать радиосвязь с MS с помощью специальных протоколов.

Контроллер базовой станции отвечает за создание канала передачи данных, переключение частот, а также передачу вызова в пределах одной BSS. Он управляет распределением радиоканалов, контролирует их очередность, обеспечивает режим с переключением частот в пределах каждой соты, кодирование и декодирование сообщений, кодирование речи, данных и вызова. Кроме того, BSC осуществляет передачу сигнала к центру мобильной коммутации MSC.

Центр коммутации мобильной связи обслуживает группу базовых станций BSS и обеспечивает все виды соединений с MS. MSC функционально аналогичен коммутатору ISDN и представляет собой интерфейс между стационарными сетями PSTN, ISDN и т.п. и сетью мобильной связи. Он обеспечивает маршрутизацию вызовов и управление вызовами. Кроме коммутации связей, MSC выполняет функции коммутации радиоканалов в разных BSS для организации “эстафетной передачи сообщений”, в процессе которой достигается непрерывность связи при перемещении мобильной станции из соты одного BSS в соту другого BSS. Коммутация связей между MSC выполняется по соглашению между операторами этих центров, заключенному на компенсационной основе. Именно такое соглашение и называется собственно роумингом.

Мобильная станция MS состоит из мобильного устройства (их выпускает ряд фирм – Alcatel, Siemens, Samsung, Ericsson, Motorola) и специальной смарт – карты, известной под названием SIM – карты, или модуля идентификации абонента (Subscriber Identity Module). Этот модуль содержит международный идентификационный номер абонента IMSI (International Mobile Subscriber Identity), свой индивидуальный ключ (пароль) аутентификации (K_i) и программу, реализующую алгоритм аутентификации (A3). Все эти “сложности” необходимы, во-первых, для исключения несанкционированного доступа к ресурсам системы, и, во-вторых, для получения этого доступа владельцем с любого устройства стандарта GSM. Достаточно вставить SIM- карту в другой аппарат. При подключении абонента к сети мобильной связи IMSI-номер заносится в регистр местонахождения “домашних” абонентов HLR (Home Location Register), а индивидуальный международный номер, присвоенный каждому мобильному

устройству, - в регистр идентификации оборудования EIR (Equipment Identification Register).

Когда абонент инициирует звонок, мобильная станция отыскивает ближайшую базовую станцию. Контроллер базовой станции передает запрос на связь в свой центр мобильной коммутации. И этот MSC прежде, чем организовывать канал связи, осуществляет аутентификацию абонента. В первую очередь, проверяется наличие записи IMSI – номера в регистре “домашних” абонентов. Если нет - его помещают в другой регистр для “приезжих” абонентов VLR (Visitor Location Register) и дублируют в HLR. При каждом включении мобильного телефона производится обновление информации о местоположении абонента, т. е. запись его IMSI – номера либо сохраняется в HLR, либо стирается при включении в зоне другого коммутатора MSC. Таким образом, IMSI – номер в каждый момент времени находится либо только в “домашнем” регистре одного из MSC сети, либо и в “домашнем”, и в регистре “приезжих” того же центра коммутации мобильной связи. При первичном попадании в регистр “приезжих” центр коммутации переписывает в свой регистр EIR данные от предыдущего “домашнего” центра коммутации.

Дальнейшая процедура проверки сетью подлинности абонента (аутентификация) осуществляется следующим образом. Сеть генерирует и передает на мобильную станцию случайное число RAND, являющееся аргументом для применения алгоритма АЗ и ключа K_i SIM - карты в определении (вычислении) значения отклика SPES:

$$SPES = AZ(K_i, RAND).$$

Значение SPES посылается в сеть, где сравнивается со значением того же отклика, вычисленным в центре AUC. При совпадении значений отклика доступ к сети разрешается. В противном случае связь сети с MS прерывается, и индикатор на MS показывает, что опознавание не состоялось.

Функциональное сопряжение всех элементов системы осуществляется интерфейсами МККТТ и Рекомендациями Европейского института стандартов по телекоммуникациям ETSI. Концепция ETSI состоит в том, что GSM – открытый интерфейс, доступный всем. Сеть GSM есть интеллектуальная сеть с открытой распределенной архитектурой, где коммутация вызовов полностью отделена от контроля обслуживания в центре ОМС.

В настоящее время в сфере мобильной связи все шире применяются цифровые технологии. В нашем распоряжении - цифровая фотокамера в мобильном телефоне с возможностью немедленной передачи снимка в любую из 75 стран мира, где действует стандарт GSM. “Хэнди - офис” уже перестал быть экстравагантной игрушкой, а с появлением третьего поколения беспроводных систем связи стандарта IMT-2000 (International Mobile Telecommunications) от МККТТ со скоростями передачи 2 Мбит/с и мультимедийные сервисы станут “нормой”. Человек получит качественно другое окружение для работы и для отдыха.

Вопросы для самопроверки:

1. В чем новизна сотовой связи?
2. Покажите, как увеличивается число каналов при разбиении территории на соты.
3. Приведите примеры схем повторного использования частот при различных диаграммах направленности излучения антенн.
4. Какие технологии уплотнения каналов применяются в беспроводной связи и в чем они состоят?
5. Соответствие уровней стандарта GSM и модели ВОС/МОС.
6. Структура мобильной сети стандарта GSM.
7. Каковы функции контроллера базовой станции?
8. Как отличаются функции переключения частот в пределах базовой трансиверной станции и базовой станции системы мобильной связи?
9. Что такое роуминг и какой блок сети ответственен за него, если сеть оператора – 1 центр коммутации?
10. Модуль идентификации абонента и его назначение?
11. Как происходит процедура аутентификации?

ТЕМА 12. ИНТЕГРИРОВАННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СЕТИ

В таких сетях обмен происходит любыми данными. Именно данными, а не голосом, видео, шифром или чем-то другим. Ведь “цифра” все унифицировала, и сетям (их узлам и соединениям) абсолютно безразлично, в какой форме предстают последовательности двоичных сигналов в различных оконечных узлах и каким смыслом наполняют эти формы люди в своих головах. Поэтому не удивительно, что инженеры попытались применить технологии, известные для одних сетей, в технологиях сетей другого вида. Как известно, даже патенты выдаются “на применение” – первое использование в новой отрасли человеческой деятельности приемов и устройств, известных и применяемых в других, возможно, даже не смежных отраслях.

Первый шаг сделали связисты. В 80-х гг. XX века для обеспечения высокоскоростной передачи данных по телефонным линиям, проложенным уже давно и используемым лишь для голосовой связи в диапазоне частот 300 Гц ÷ 3,4 кГц, появились технологии DSL (Digital Subscriber Line – цифровая абонентская линия). Они опирались на достижения цифровой обработки сигналов в сочетании с новыми алгоритмами и технологиями кодирования. Это позволило увеличить ширину используемой полосы частот от порядка 100 кГц для узкополосной ISDN до более 10 МГц для скоростной DSL.

Безусловно, решения носили аппаратно-алгоритмический характер, и узлами в новых сетях становились DSL-модемы (с входящими в их состав трансиверами), которые в большинстве стандартов трактуются как “насосы для перекачки битов”. В модемах многих производителей используется способ компенсации эхо-сигналов, что делает возможным осуществление полнодуплексной передачи по одной ненагруженной паре телефонных проводов со скоростью 160 Кбит/с. А с ростом потребности в высокоскоростном доступе в Интернет значимость линий DSL на базе сети ISDN существенно возросла. Схема организации таких линий показана на рис. 12.1.

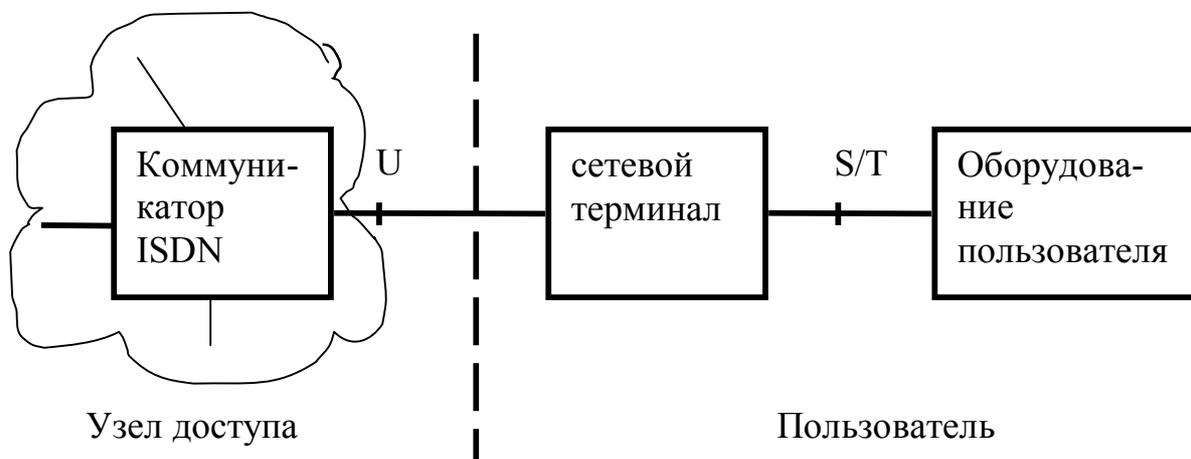


Рис. 12.1. Организация линий DSL

В варианте высокоскоростной цифровой абонентской линии (HDSL) вместо канала с U-протоколом обмена применяются несколько пар проводов сети доступа. Стандарт 2B1Q для скорости передачи 2,048 Мбит/с обеспечивает как двустороннюю передачу по одной паре проводов, так и параллельную передачу по двум или трем парам проводов (аналогично Fast Ethernet по четырем витым парам). Это позволяет распределить сигналы циклически по нескольким парам и тем самым снизить скорости передачи по каждой паре для увеличения предельной дальности передачи.

В процессе эксплуатации цифровых линий выявилась потребность в предоставлении услуг, требующих явно выраженной асимметрии передачи данных. Эта асимметрия выражается в большой разнице объемов трафика от сети к пользователю (нисходящий поток) и от пользователя к сети (восходящий поток). Такая ситуация возникает, например, при передаче видео по запросу. Так возникла версия ADSL (асимметричная DSL). Правда, разработчики ценой добавления на линии специальных устройств – частотных разделителей (сплиттеров) сумели сохранить и линии голосовой связи. Именно этот вариант применения сплиттера на стороне пользователя иллюстрируется на рис. 12.2.

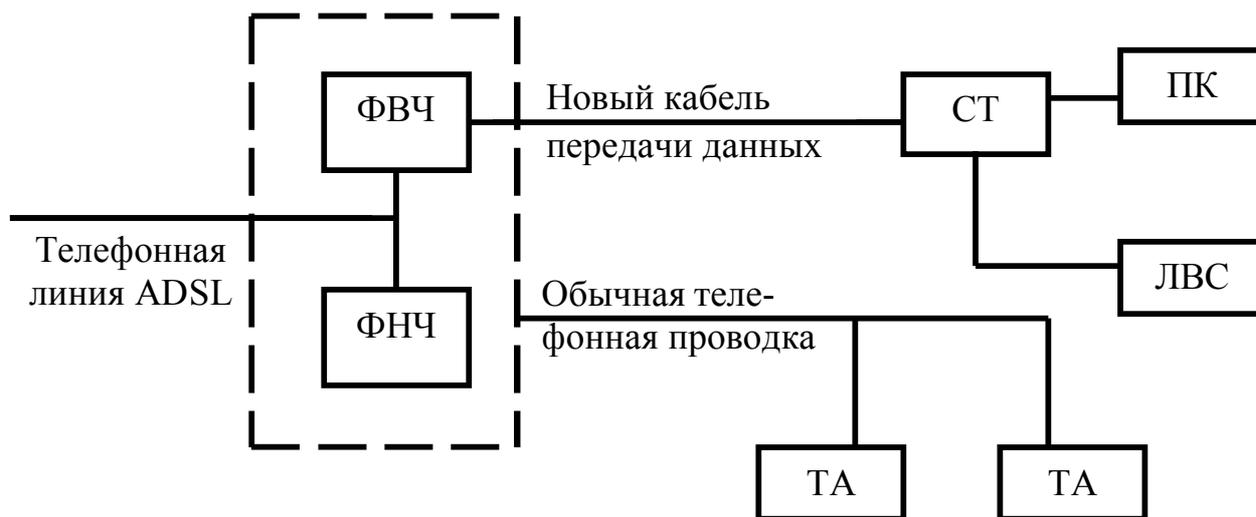


Рис. 12.2. Схема реализации ADSL: ФВЧ – фильтр высоких частот; ФНЧ – фильтр низких частот; СТ – сетевой терминал; ПК – персональный компьютер; ЛВС – локальная вычислительная сеть; ТА – телефонный аппарат

Специалисты по вычислительным системам «не остались в долгу» и для организации и/или расширения своих сетей использовали идеологию сотовой связи. Так появился беспроводной аналог стандарта Ethernet – технология Wi-Fi (Wireless Fidelity – беспроводная точность) на базе стандарта IEEE 802.11. Стандарт предписывает использование полосы частот $2,40 \div 2,4835$ ГГц (очень важно: эта полоса не нуждается в лицензировании) и обеспечивает скорость передачи данных 11 Мбит/с на дальность до 100 м, а на открытой местности – до 400 м. В 2010 г. была проведена сертификация

версии стандарта 802.11n, который сможет обеспечить скорости 320 Мбит/с и выше.

Wi-Fi обеспечивает доступ к серверам баз данных, позволяет выйти в Интернет, распечатывать файлы и т.п. И все это без проводного соединения со всемирной паутиной ваших ноут- и нетбуков. Достаточно разместить их в радиусе 100 м от так называемой «точки доступа» (термин заимствован у связистов) – Wi-Fi устройства, которое по своим функциям очень похоже на офисную АТС.

Таким образом, Wi-Fi – технология позволяет решить три важные задачи:

- упростить общение с мобильным компьютером;
- обеспечить комфортные условия для работы деловым партнерам или журналистам, пришедшим в офис со своим лап-топом;
- создать локальную сеть в помещениях, где прокладка кабеля слишком дорога, нежелательна или невозможна. Схема организации беспроводной сети Wi-Fi приведена на рис. 12.3.

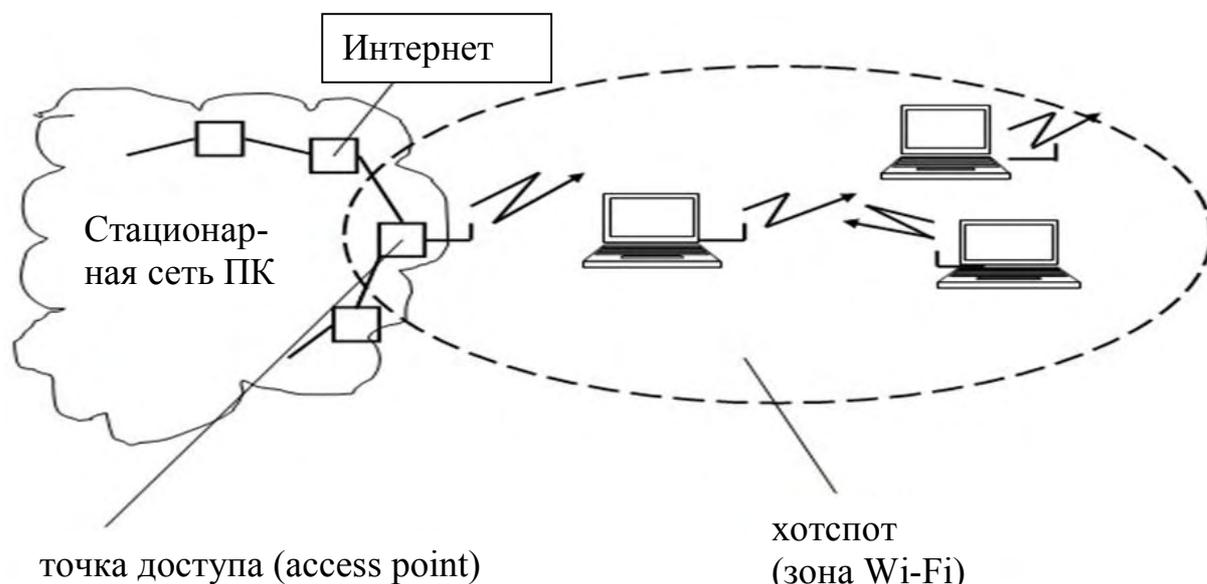


Рис. 12.3. Схема организации сети Wi - Fi

Если точка доступа организуется на одном из узлов существующей локальной сети, связанной с Интернетом, то достаточно снабдить его недорогим устройством для приема–передачи радиосигналов и прилагать к нему ПО. Что касается мобильных ПК, то Wi-Fi– адаптеры часто входят в их стандартную комплектацию.

Наиболее известными мировыми производителями оборудования, поддерживающего стандарта Wi-Fi, являются компании Intel, Lucent, CISCO, D-Link.

Многие университеты обеспечивают свободный доступ в Интернет через Wi-Fi для своих студентов, посетителей и всех находящихся на территории

университета. В 2010 г. к числу таких университетов присоединился и СПбГТУРП.

Технические характеристики применяемых стандартов Wi-Fi приведены в табл. 12.1.

Таблица 12.1

Стандарты Wi - Fi

Характеристика	Стандарт 802			
	11 b	11g	11i	11n
Скорость, Мбит/с	11	54 (до 125*)	125	до 540
Радиус действия, м	50	50	50	50
Протоколы обеспечения безопасности	WEP	WEP, WPA, WPA2*	WEP,WPA,WPA2	WEP, WPA, WPA2
Уровень безопасности	низкий	высокий	высокий	высокий

* Поддерживается не всяким оборудованием.

В России уже применяются стандарты 802.11b и 802.11g, но вот-вот должен появиться и 802.11n.

Из вышеизложенного можно сделать некоторые выводы о преимуществах и недостатках технологии Wi-Fi.

Хорошо:

- позволяет развернуть или расширить существующую вычислительную сеть без прокладки кабеля;
- Wi-Fi-устройства широко представлены на рынке и имеют невысокую цену;
- Wi-Fi сети поддерживают контакт с клиентской мобильной станцией при ее перемещении из зоны одной точки доступа в зону другой;
- в отличие от сотовых телефонов, Wi-Fi-оборудование может работать в любой стране мира.

Плохо:

- частотный диапазон и эксплуатационные ограничения не одинаковы в разных странах;
- Wi-Fi сети имеют ограниченный и небольшой радиус действия;
- большее, нежели в устройствах других стандартов, потребление энергии;
- слабая защищенность наиболее популярного стандарта шифрования Wired Equivalent Privacy (WEP). Так что все как всегда: есть хорошее, но есть и недостаточно хорошее.

Поэтому в начале XXI века сложилось два принципиально разных подхода к реализации беспроводных сетей. Конкурентом Wi-Fi в этом вопросе выступает Bluetooth 2.2. Он декларирует скорость 30 Мбит/с, это позволит просматривать потоковое видео без использования «шнурков» (проводов) и передавать фото с высоким разрешением. По мнению

некоторых экспертов, шансов на внедрение именно этого протокола значительно больше, нежели Wi-Fi, так как устройства для его поддержки потребляют меньше энергии, а предыдущие версии протокола Bluetooth присутствуют в огромном числе уже выпускаемых во всем мире современных мобильных устройств самых разнообразных типов: от наушников и мобильных ПК до автомобилей (например, Sky-Link).

Однако было бы очень странным, если бы инженерная мысль не обратилась к поиску способа избавиться от самого существенного недостатка в организации беспроводных сетей – малого радиуса действия. Действительно обратилась, и результаты не заставили долго ждать. В середине первого десятилетия XXI века появилась новая технология, полностью изложенная в стандартах IEEE 802.16d (так называемый «фиксированный») и 802.16e (так называемый «мобильный») WiMAX.

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) – телекоммуникационная технология, разработанная с целью предоставления универсальной беспроводной связи на больших расстояниях для широкого спектра устройств – от рабочих станций и портативных компьютеров до мобильных телефонов. Эта технология хорошо подходит для:

- соединения точек Wi-Fi между собой и с другими сегментами Интернета;
- предоставления беспроводного широкополосного доступа, составляя конкуренцию выделенным линиям и DSL;
- обеспечения высокоскоростных сервисов обмена данными и обслуживания телекоммуникационных соединений;
- организации точек доступа, не привязанных к географическому местоположению.

Достоинства WiMAX позволяют компоновать беспроводные участки высокой пропускной способности с уже существующими локальными сетями и разветвленной сетью традиционных DSL- и выделенных линий, создавая масштабируемые высокоскоростные сети в рамках целых городов WMAN (Wireless Metropolitan Access Network).

Правда, совсем без проводов все-таки не обходится. Хотя узлы сети – базовые станции – связываются между собой с помощью радиоволн на расстояниях до 50 км и общаются со «своими» абонентскими станциями на удалении до 10 км, должна быть хотя бы одна (а лучше – несколько) базовая станция, которая связана с провайдером Интернета по проводной связи. Очевидно, что это требование, особенно в городских условиях, не является таким уж жестким. Идеология структуры WiMAX показана на рис. 12.4.

На уровне базовых станций используются частоты $10 \div 66$ ГГц (это лицензируемые диапазоны), а скорость обмена при прямой видимости достигает 150 Мбит/с. Для обмена базовых станций с абонентами используются частоты $2 \div 11$ ГГц (не лицензируемые во многих странах), а скорость обмена может достигать до 75 Мбит/с.

И все же универсализм WiMAX тоже ограничен. Как уже отмечалось, имеются две версии: фиксированный WiMAX (беспроводное оборудование пользователя привязано жестко к своему месту нахождения) и мобильный WiMAX. Описываются они стандартами 802.16d и 802.16e соответственно. Различия между ними весьма существенны, но возможен вариант получения первого как предельного случая второго. Мобильный WiMAX допускает перемещение пользователя со скоростью до 120 км/ч (ограничение связано с сохранением непрерывности связи), а при удалении пользователя от «своей» базовой станции более, чем на 10 км, незаметно для него сеть переключается на связь с другой базовой станцией.

Из-за созвучности названий двух беспроводных технологий, близости номеров стандартов их описывающих (IEEE 802), своего назначения – подключения к интернету технологию WiMAX часто сравнивают с Wi-Fi.

И все-таки каждая из них решает свой круг задач. Wi-Fi – система ближнего действия (десятки метров) для доступа пользователей к собственной локальной сети, которая может быть как подключена к Интернету, так и не подключена. WiMAX – система дальнего следования (на десятки и сотни километров) для предоставления конечному пользователю соединения с Интернетом через провайдера. Имеются и другие отличия, связанные со способами кодирования, уплотнения, обеспечения безопасности и гарантированным уровнем качества услуг.

Сравнительные характеристики стандартов беспроводной связи приведены в табл. 12.2.

Таблица 12.2

Сравнение стандартов беспроводной связи

Стандарт	Применение	Пропускная способность, Мбит/с	Радиус действия, м	Рабочие частоты, ГГц
1	2	3	4	5
Wi-Fi 802.11a	WLAN	до 54	50	5,0
Wi-Fi 802.11b	WLAN	до 11	50	2,4
Wi-Fi 802.11g	WLAN	до 108 (в перспективе–300)	50	2,4
Wi-Fi 802.11n	WLAN	до 450 (в перспективе–600)	50	2,4 или 5,0

1	2	3	4	5
WiMAX 802.16d	WMAN	до 75	6 000– 10 000	1,5÷11,0
WiMAX 802.16e	Mobile WMAN	до 40	1 000–5 000	2,3÷13,6
WiMAX 802.16m*	WMAN, Mobile WMAN	до 1 000 до 100	— —	— —
Bluetooth 802.5.1	WPAN	до 0.1	до 10	2,4
Bluetooth 802.15.3	WPAN	11–55	до 100	2,4
Bluetooth 802.15.4	WPAN	20–250	до 100	0,915 (10 каналов)

* Стандарт находится в разработке.

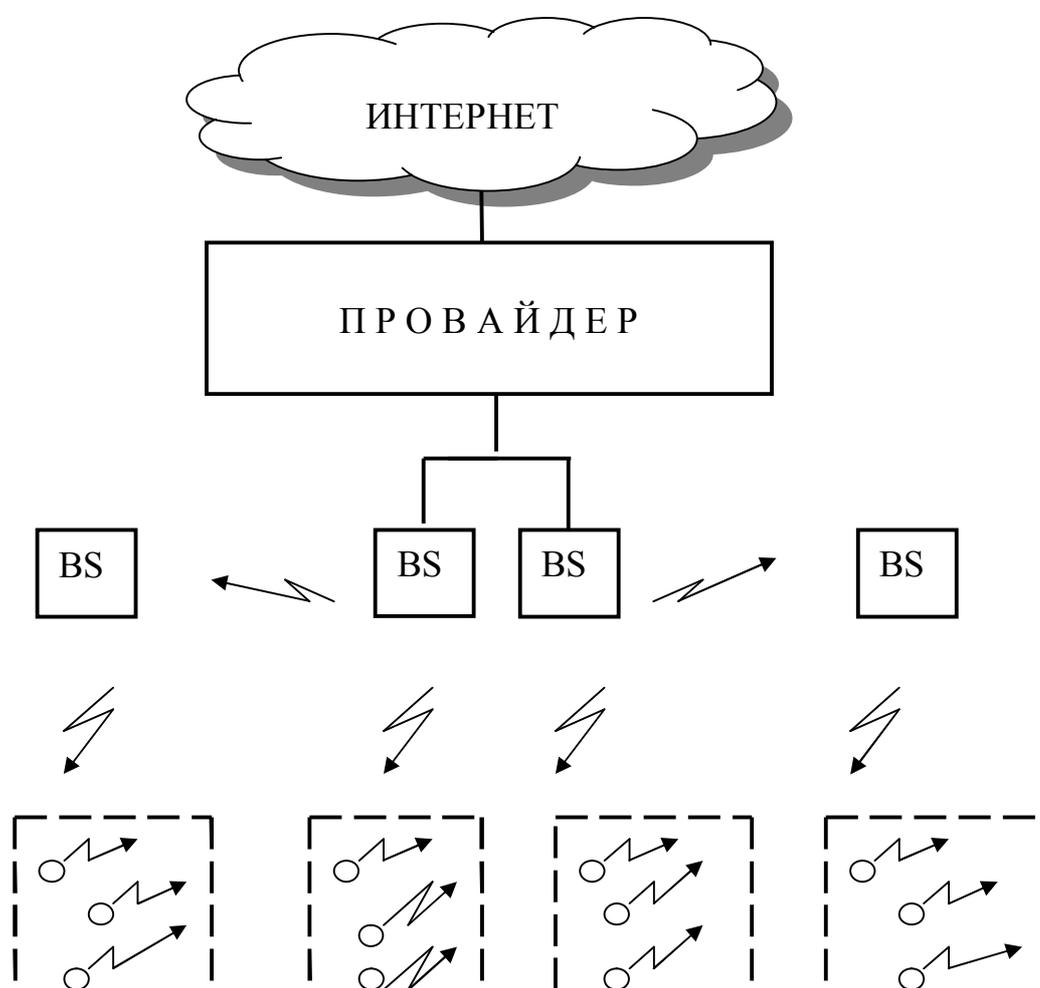


Рис. 12.4. Структура WiMAX: BS–базовая станция; оборудование пользователя: роутер, коммуникатор, ноутбук, ПК с встроенным или внешним WiMAX–модемом

Сети мобильного и фиксированного WiMAX в России строят такие фирмы, как «Скартел» (торговая марка Yota), «Комстар», «Синтерра», «Новые телекоммуникации» и др.

Вопросы для самопроверки:

1. Приведите примеры «переноса» технологий из одной сферы деятельности в другую по своему личному опыту.
2. Каким техническим решением была устранена асимметрия трафика восходящих и нисходящих потоков в сети?
3. Чем замечательно появление Wi-Fi?
4. Какие функции выполняет Wi-Fi?
5. Перечислите преимущества и недостатки Wi-Fi.
6. Каково принципиальное отличие WiMAX от Wi-Fi?

ЧАСТЬ III. МОДЕЛЬНОЕ ПОСТРОЕНИЕ СЕТИ

ТЕМА 13. ПРАВОВЫЕ ОСНОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ПРОМЫШЛЕННЫХ СЕТЕЙ

При рассмотрении любой из сетей телекоммуникации неизменно отмечалось одно очень важное обстоятельство. А именно: какие стандарты и рекомендации положены в основу создания и функционирования каждой конкретной сети. Обязательное их соблюдение при разработке новой сети гарантирует сопрягаемость любой корпоративной (частной) сети с одной или несколькими сетями общего пользования, построенными на концепции открытости.

С другой стороны, автоматизация промышленности в нашей стране прошла несколько этапов своей истории от АСУ и отдельных АСУТП до Интегрированной АСУ и Информационной АСУ. Именно отождествление системы автоматизированного управления учреждением, производством, технологическим процессом или их комбинацией с системой сбора, хранения, передачи и обработки информации с целью выработки наиболее оправданных управленческих решений и позволяет любую автоматизированную систему (АС) понимать как телекоммуникационную сеть. А это означает, что при оснащении (развитии) предприятия такой сетью необходимо пользоваться пакетом государственных стандартов на любые автоматизированные системы.

Такой пакет ГОСТов называется «Комплекс стандартов на автоматизированные системы». Настоящее учебное пособие не предусматривает подробное рассмотрение всего пакета ГОСТов. Поэтому остановимся лишь на некоторых из них.

ГОСТ 34.601-90 «Автоматизированные системы. Стадии создания» предписывает перечень и этапы работ. Под «созданием» понимается как новая разработка, так и расширение или модернизация уже функционирующих на предприятии систем (пункт 1.3). ГОСТом предусмотрены стадии и этапы создания автоматизированных систем, приведенные ниже (табл.13.1).

ГОСТом допускается сокращение, объединение и параллельное исполнение этапов работ. Весь перечень работ определяется договорами и техническими заданиями (ТЗ) на основе этого стандарта.

Приложение 1 ГОСТа раскрывает содержание работ на каждом этапе. Современное развитие информационных технологий позволяет укрупнять многие этапы, но без детального изучения объекта и тщательного проведения НИР невозможна разработка ТЗ на АС.

В Приложении 2 приводится перечень организаций, участвующих в работах по созданию АС. Главное место отведено организации-заказчику, которая не только обеспечивает финансирование работ, приемку и

последующую эксплуатацию АС, но и может выступать исполнителем (соисполнителем) любого из этапов на любой стадии.

Таблица 13.1

Стадии и этапы по ГОСТ 34.601-90

Стадии	Этапы работ
1.Формирование требований к АС	1.1.Обследование объекта и обоснование необходимости создания АС 1.2.Формирование требований пользователя к АС 1.3.Оформление отчета
2.Разработка концепции АС	2.1.Изучение объекта 2.2.Проведение необходимых НИР 2.3.Разработка вариантов концепции АС, удовлетворяющих требованиям пользователя
3.Техническое задание	Разработка и утверждение ТЗ на создание АС
4.Эскизный проект	4.1.Разработка предварительных проектных решений по системе и ее частям 4.2.Разработка документации на АС и ее части
5.Технический проект	5.1.Разработка проектных решений по системе и ее частям 5.2.Разработка документации на АС и ее части 5.3.Разработка и оформление документации на поставку изделий для комплектования АС и/или технических заданий (ТЗ) на их разработку 5.4.Разработка заданий на проектирование в смежных частях проекта объекта автоматизации
6.Рабочая документация	6.1.Разработка рабочей документации на систему и ее части 6.2.Разработка или адаптация программ
7.Ввод в действие	7.1.Подготовка объекта автоматизации к вводу АС в действие 7.2.Подготовка персонала 7.3.Комплектация АС поставляемыми изделиями 7.4.Строительно-монтажные работы 7.5.Пусконаладочные работы 7.6.Проведение предварительных испытаний 7.7.Проведение опытной эксплуатации 7.8.Проведение приемочных испытаний
8.Сопровождение АС	8.1.Выполнение работ в соответствии с гарантийными обязательствами 8.2.Послегарантийное обслуживание

Разработчики ГОСТа допустили адаптацию в отношении программного продукта. Сегодня этот прием может быть использован и в отношении технических средств (особенно, если они уже имеются на предприятии) и реализован путем согласования протоколов функционирования, как с применением дополнительных технических средств, так и без них.

Результатом работы этапа 1.1 должно стать убедительное технико-экономическое обоснование (ТЭО) производственно-хозяйственной необходимости и выгоды создания и эксплуатации АС. Состав и содержание этого документа регламентированы ГОСТ 24.202-80 «ТЭО создания АСУ». ТЭО содержит разделы о характеристике объекта и существующей системы управления, о целях создания АС, об ожидаемых технико-экономических результатах создания АС.

В разделе о характеристике объекта и существующей системы управления излагаются общие сведения, характеристика производственно-хозяйственной деятельности, организационной и производственной структуры объекта, характеристика и критический анализ методов и средств системы управления.

В разделе об ожидаемых технико-экономических результатах приводится перечень основных источников получаемой в результате создания АС экономической эффективности и оценка ожидаемых изменений основных технико-экономических и социальных показателей производственно-хозяйственной деятельности объекта; оценка ожидаемых затрат на создание АС и ожидаемые обобщающие показатели экономической эффективности АС. Для написания этих разделов разработчик ТЭО должен иметь высокую квалификацию управленца, быть знакомым с теорией и методикой управления в отрасли, знать методики оценок экономической эффективности (особенно при включении социальной составляющей). В условиях рыночной экономики решение вопроса о создании или не создании АС решается значительно проще. Все эти характеристики включает бизнес-план, основным критерием которого является срок окупаемости вложений. И если этот срок оказывается неприемлемым, будет решаться вопрос о более эффективных способах вложений. В другом случае – работа продолжится.

Особо стоит обратить внимание на этап 7.2 «Подготовка персонала». Подготовка персонала к последующей эксплуатации вызывает необходимость появления в структуре предприятия отдельного подразделения специалистов по информационным технологиям. С увеличением степени автоматизации предприятия роль этих специалистов неуклонно возрастает.

Результатом работ на стадии 3 должно быть утвержденное техническое задание на создание АС. Статусу этого документа, его содержанию, порядку разработки и утверждения посвящен ГОСТ 34.602-89 «Техническое задание на создание автоматизированной системы». ТЗ на АС является основным документом, определяющим требования и порядок создания (развития или

модернизации, далее – создания) автоматизированной системы, в соответствии с которым проводится разработка АС и ее приемка при вводе в действие. ТЗ на АС разрабатывают на основании ТЭО или бизнес-плана.

ГОСТ 34.602-89 определяет состав и содержание документа ТЗ на АС. Здесь также указаны разделы, содержащие общие сведения, характеристику объекта автоматизации, назначение и цели создания системы. Собственно содержание ТЗ отражается в разделах: требования к системе, состав и содержание работ по созданию системы, порядок контроля и приемки системы, состав и содержание работ по подготовке объекта к вводу системы в действие. Требования к системе предъявляются на трех уровнях: к системе в целом, к выполняемым функциям и к видам обеспечения. Требования к системе в целом содержат требования к структуре и функционированию системы; к численности и квалификации персонала системы и режиму его работы; к безопасности и надежности; к эксплуатации, техническому обслуживанию и ремонту; к защите информации от несанкционированного доступа; к сохранности информации при аварийных ситуациях и другие.

Требования к видам обеспечения содержат требования к математическому, информационному, лингвистическому, программному, техническому, метрологическому, организационному, методическому и другим видам обеспечения системы для выполнения ее функций.

Например, для информационного обеспечения перечисляются требования к составу, структуре и способам организации данных в системе; к информационному обмену между компонентами системы; к информационной совместимости со смежными системами; по использованию принятых государственных и отраслевых классификаторов; к структуре процесса сбора, обработки, передачи данных в системе и представлению данных и другие. Многие из этих требований указываются путем составления спецификации входных и выходных данных для каждого функционального модуля системы. Для организационного обеспечения приводят требования:

- 1) к структуре и функциям подразделений, участвующих в функционировании системы или обеспечивающих ее эксплуатацию;
- 2) к организации функционирования системы и порядку взаимодействия персонала АС и персонала объекта автоматизации;
- 3) к защите от ошибочных действий персонала системы.

В разделе ТЗ «Требования к составу и содержанию работ по подготовке объекта автоматизации к вводу системы в действие» приводится перечень основных мероприятий и их исполнителей. В том числе, создание необходимых для функционирования системы подразделений и служб, а также сроки и порядок комплектования штатов и обучения персонала. На практике ядро будущей службы эксплуатации АС формируется уже на этапе проработки концепции системы, и эти работники объекта автоматизации принимают активное участие во всех работах до ввода в эксплуатацию, в том числе и в подготовке производственного персонала.

Наши профессиональные интересы требуют остановиться более подробно на вопросе технического обеспечения АС. В ТЗ для технического обеспечения приводятся требования к видам технических средств, допустимых к использованию в системе, и к функциональным, конструктивным и эксплуатационным характеристикам средств технического обеспечения системы. Все эти требования должны быть удовлетворены и оформлены как технические решения по проекту АС в виде документации технического обеспечения АС в соответствии с ГОСТ 24.206-80 «Требования к содержанию документов по техническому обеспечению», который предписывает следующее содержание: описание комплекса технических средств (КТС); структурная схема КТС; план расположения; таблица соединений и подключений; схема соединения внешних проводок. В этом перечне основным является документ «Описание КТС». ГОСТ 34.602-89 достаточно подробно регламентирует содержание этого документа. Так, при описании структуры КТС необходимо:

- обосновать выбор КТС, в том числе технические решения по обмену данными с объектом управления;
- описать функционирование КТС, в том числе в пусковых и аварийных режимах;
- описать размещение КТС с учетом выполнения требований техники безопасности;
- обосновать методы защиты технических средств от механических, тепловых, электромагнитных и других воздействий, защиты данных от несанкционированного доступа к ним.

В разделе «Вычислительный комплекс» приводятся обоснование и описание основных решений по составу и вычислительной мощности устройств, по выбору типов периферийных технических средств получения, контроля, регистрации, хранения и отображения информации; обоснование численности персонала, обеспечивающего функционирование АС в пусковом, нормальном и аварийном режимах.

В разделах «Абонентские пункты» и «Аппаратура передачи данных» обосновываются решения по выбору средств телеобработки и передачи данных, в том числе по выбору каналов связи; приводятся требования по организации связи и к арендуемым каналам, к оснащению персонала и абонентских пунктов средствами связи с оценкой объемно-временных характеристик передаваемой информации.

Отдельные документы «Таблица соединений и подключений» и «Схема соединений внешних проводок» описывают и отражают размещение электрических и трубных соединений между аппаратами и приборами (монтажными изделиями), установленными в щитах, пультах; технические характеристики кабелей, проводов, соединительных и разветвительных коробок, труб, арматуры и т.п. Именно эти соединения следует проектировать в соответствии с ранее упоминавшейся Структурированной Кабельной Системой (СКС), позволяющей предусмотреть как возможное

развитие АС, так и некоторую реструктуризацию объекта автоматизации в связи с изменением технологии или ассортимента выпускаемой продукции. Проектирование СКС регламентировано стандартом США EIA/TIA –568А 1991 г. (новая редакция – в 1995г.). Это технический стандарт на кабельную проводку для телекоммуникационных продуктов и услуг в коммерческих зданиях. Сам стандарт EIA/TIA –568А опирается на целый ряд стандартов по размещению телекоммуникационной структуры в пространстве коммерческих (больших и малых) и жилых зданий (-569, -570, -606) и требованиям к заземлению (-607).

СКС планируется и строится иерархически с главной магистралью и ответвлениями от нее. Типичная структура СКС включает горизонтальные подсистемы (на этаже здания соединяют розетки подключения пользователей с кроссовыми шкафами), вертикальные подсистемы (соединяют кроссовые шкафы на этажах с центральной аппаратной здания) и подсистему композиции (соединяет центральные аппаратные зданий с главной аппаратной всей композиции сети с помощью магистралей).

При продуманной организации СКС может стать универсальной средой для передачи компьютерных данных, реализации местной телефонной сети, осуществления видеоконференций, передачи сигналов охранной и противопожарной систем. Подобная универсализация может позволить автоматизировать многие процессы контроля, мониторинга и управления ремонтными и хозяйственными службами, а также системами жизнеобеспечения предприятия.

Вопросы для самопроверки

1. Почему ГОСТы на автоматизированные системы применимы и сегодня?
2. Перечислите стадии создания (модернизации, расширения) АС. Какие из них могут быть совмещены?
3. Назовите участников работ по созданию АС и обоснуйте их необходимость.
4. ТЭО или бизнес-план.
5. Раздел ТЗ «Требования к системе», его содержание.
6. Требования к техническим средствам АС.
7. СКС, ее состав и преимущества.

ТЕМА 14. ПРИМЕР ПОСТРОЕНИЯ СЕТИ НА ПРЕДПРИЯТИИ

Как следует из текста ГОСТов, все начинается с действующей на предприятии структуры производства. В качестве модели примем довольно типичную для средних и крупных комбинатов организационную структуру следующего вида (рис.14.1):

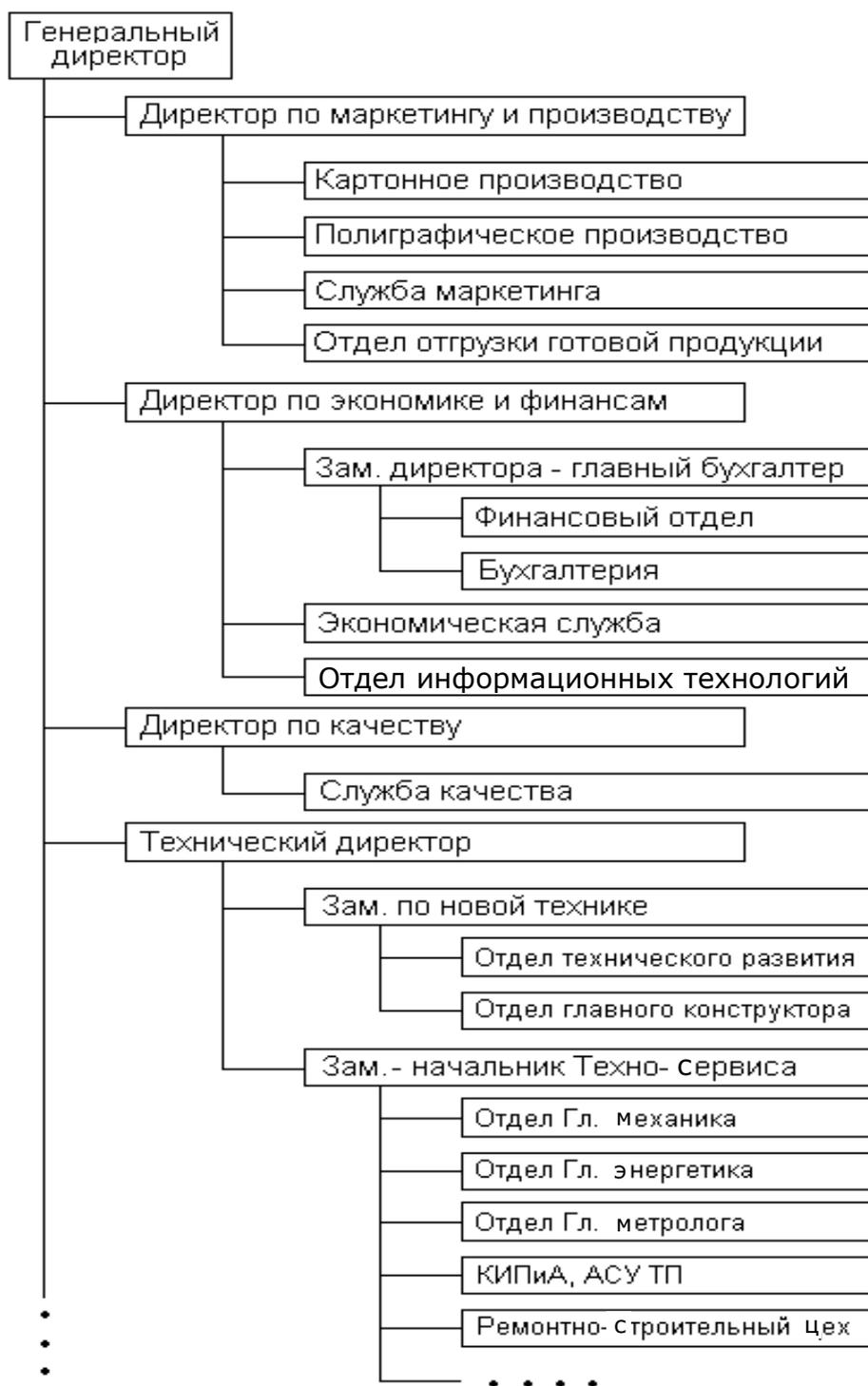


Рис.14.1. Структура модельного предприятия

Структура на рис.14.1 отражает не полную структуру предприятия, но для оценки управленческих функций в процессе основного производства ее вполне достаточно.

Кроме структуры, для проектирования размещения и сопряжения любых технических средств необходима топология предприятия: размещение производственных и административных зданий, а также размещение производственных служб и подразделений в самих зданиях.

Исходными данными являются: перечень существующих технических средств управления, схема и размещение их соединений, в том числе резервы как самих управленческих ресурсов, так и конструктивов для прокладки возможных новых соединений для передачи и обработки большего объема информации.

Пусть в модели производство размещено в двух одноэтажных, рядом стоящих корпусах, а управление – в отдельном трехэтажном корпусе, как показано на рис. 14.2:

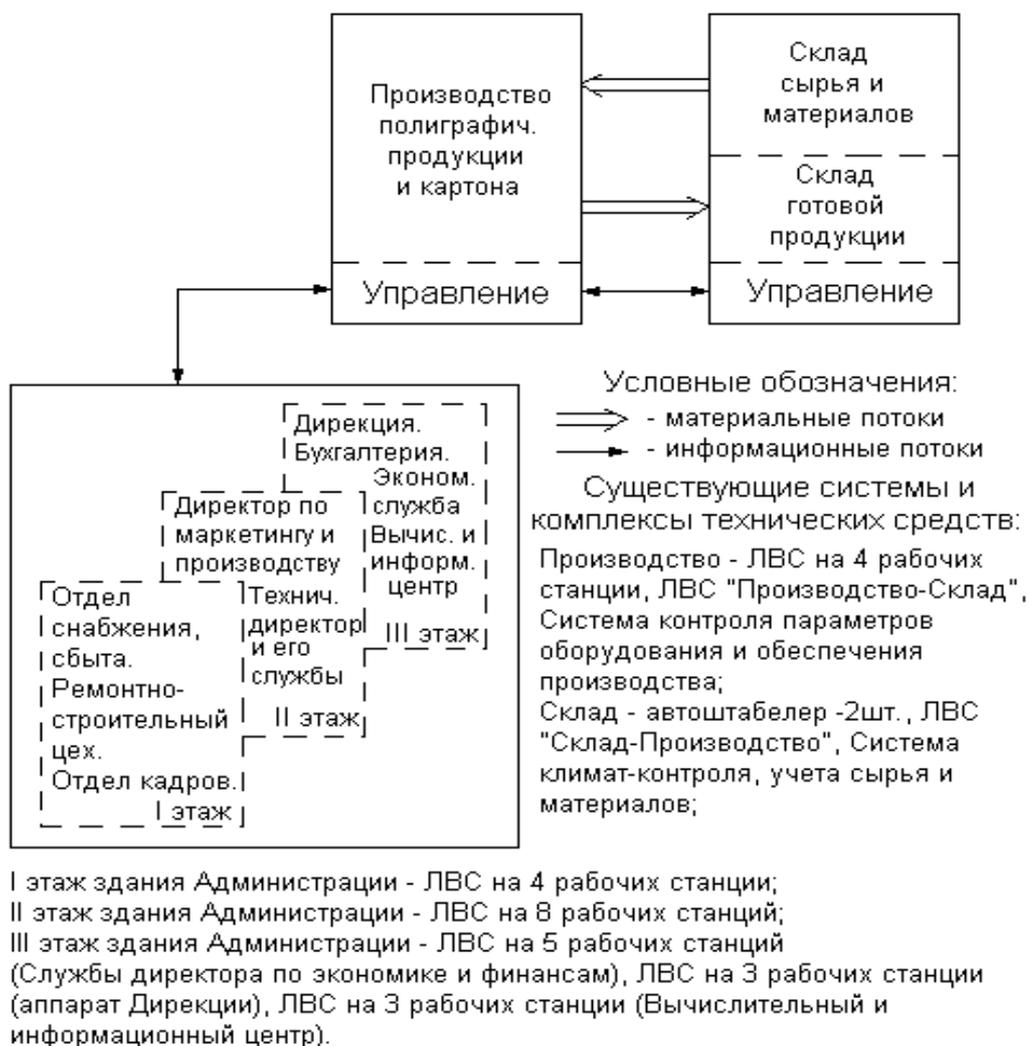


Рис.14.2. Размещение служб предприятия

Для представленного в таком виде объекта ставится задача: объединить средства и системы изготовления, контроля и учета продукции, сети внутренней связи, создать условия для обмена информацией предприятия с другими участниками корпорации.

В ТЗ следует включить разработку:

1) системы автоматизированного сбора данных о контроле параметров основного и вспомогательного оборудования с выдачей в службы технического директора предупреждения о возможной аварийной ситуации;

2) аппаратно-программного соединения трех ЛВС, системы климат-контроля, системы нанесения/чтения штрих-кода на концах материальных потоков в зданиях производства и склада, а также системы учета сырья и материалов;

3) сети внутренней связи с возможностью проведения телеконференций и выхода в сети коллективного пользования.

Оценка объемов информации для разрабатываемых систем дает следующие результаты:

а) в цехе – сумма объемов одиночных замеров, умноженная на максимальную частоту замеров за смену и деленная на 8×3600 , - 0,632 Мбит/с;

б) на складе – 0,212 Мбит/с.

Значит, пропускная способность информационной магистрали должна быть не ниже 1,44 Мбит/с (с запасом). Следовательно, технология 10 BASE приемлема и может быть реализована на коаксиале, витой паре или многомодовом оптоволокне.

В качестве АТС может быть рекомендована лучшая, по оценке английского журнала “Что покупать для бизнеса” в 2010 г., цифровая станция Panasonic серии KX-TDE600. IP-АТС KX-TDE600 — коммуникационная платформа для решения любых задач на сегодняшний день и в будущем, если планируется полный переход на IP-телефонию. При цене менее \$4000 (на вторую половину 2010 г.) обладает следующими возможностями:

- поддержка всех без исключений функций KX-TDA600;
- предельная ёмкость системы: до 640 внешних линий, до 1152 внутренних линий, 512 мобильных абонентов;
- до 640 внешних IP-линий, в том числе не более 32 внешних SIP-линий;
- до 672 системных IP-телефонов;
- до 128 SIP-телефонов сторонних производителей;
- встроенные базовые функции голосовой почты (2-канала);
- передача факсов по IP-сети (поддержка протокола T.38);
- совместимость с новыми моделями системных IP-телефонов и консолями серии NT300;

- поддержка многосторонней конференции;
- полная совместимость с АТС серии КХ-ТДА;
- совместимость с различными интерфейсами, приложениями и сетями.

Если существующие системы изобразить пунктирным контуром, а добавления – сплошным, то общая схема систем организации и управления может быть представлена в виде иерархической “звезды” в следующем виде (рис.14.3).

Как видно по рис.14.3, общая топология сети – звезда при объединении трех существующих (1, 2, 3) и одной новой (8) ЛВС в одну ЛВС с четырьмя сегментами, разделенными мостами. Аналогично расширена ЛВС службы технического директора: подключение новой ЛВС (9) к имеющейся (4) через мост.

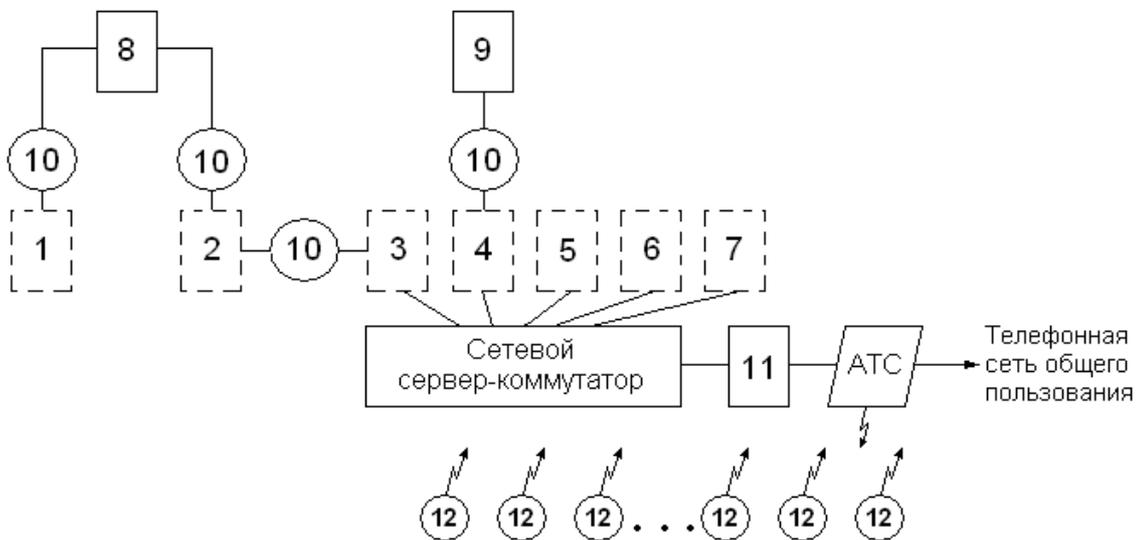


Рис. 14.3. Расширенная схема систем управления

1 - ЛВС-производство; 2 - ЛВС-склад; 3 - ЛВС службы снабжения и сбыта; 4 - ЛВС технической службы; 5 - ЛВС бухгалтерии; 6 - ЛВС экономической службы и маркетинга; 7 - ЛВС администрации; 8 - ЛВС обслуживания учета материалов, нанесения/чтения штрих-кода и управления работой одного автоштабелера; 9 - ЛВС контроля параметров основного и вспомогательного оборудования и управления работой второго автоштабелера; 10 - мост между двумя ЛВС; 11 - брандмауэр; 12 - абоненты внутренней мобильной сети

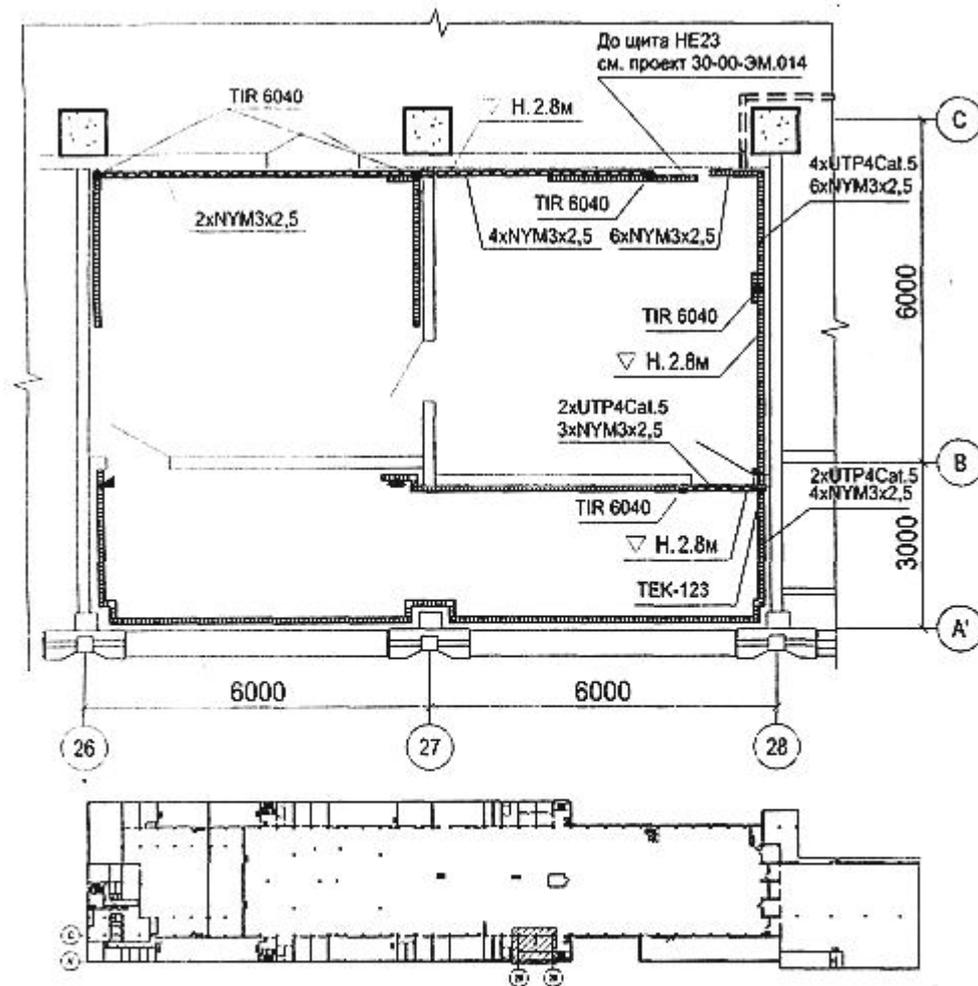
Центральный узел – сетевой сервер-коммутатор. АТС соединяется с центральным узлом через “брандмауэр” для защиты сети от несанкционированного доступа. С другой стороны, через АТС могут передаваться пакеты информации по обмену внутри корпорации. Сервер-коммутатор, например, Compaq Alpha Server DS20. Это – двухпроцессорный сервер – младшая модель полнофункционального Alpha – сервера общего

назначения. Может использоваться как сервер баз данных, прикладных систем, телекоммуникаций и Internet – приложений.

Технические характеристики:

- процессор Alpha 21264, тактовая частота 500 МГц;
- число процессоров – до 2;
- объем кэш-памяти – 4 МБ на 1 процессор;
- архитектура – коммутатор;
- максимальный объем ОЗУ – 4 ГБ;
- CD-ROM, флоппи- диск – 1,44 МБ, HD – до 38,4 ГБ;
- накопитель на магнитной ленте;
- сетевые соединения – для 10/100 Мбит/с Ethernet;
- асинхронные контроллеры на 1, 4, 8, 15 портов;
- графические адаптеры – на выбор из списка;
- мониторы - 15÷21 дюйм;
- источник питания – 675 Вт;
- операционная система – UNIX.

Центральный узел – сетевой сервер-коммутатор, мосты, брандмауэр и АТС разместим на III этаже. Необходимые трассы следует спроектировать в соответствии с СКС. Иллюстрации фрагментов такого проекта представлены на рис. 14.4 и 14.5.



Условные обозначения

- ▼ - рабочее место, оборудованное розетками RJ-45
- - проход в стене
- - вертикальный канал
- — - монтируемая гофрированная труба
- ▬▬▬ - монтируемый горизонтальный короб ТЕК-123
- ▬▬▬ - демонтируемый горизонтальный короб

Рис. 14.4. План кабельных конструкций (фрагмент)

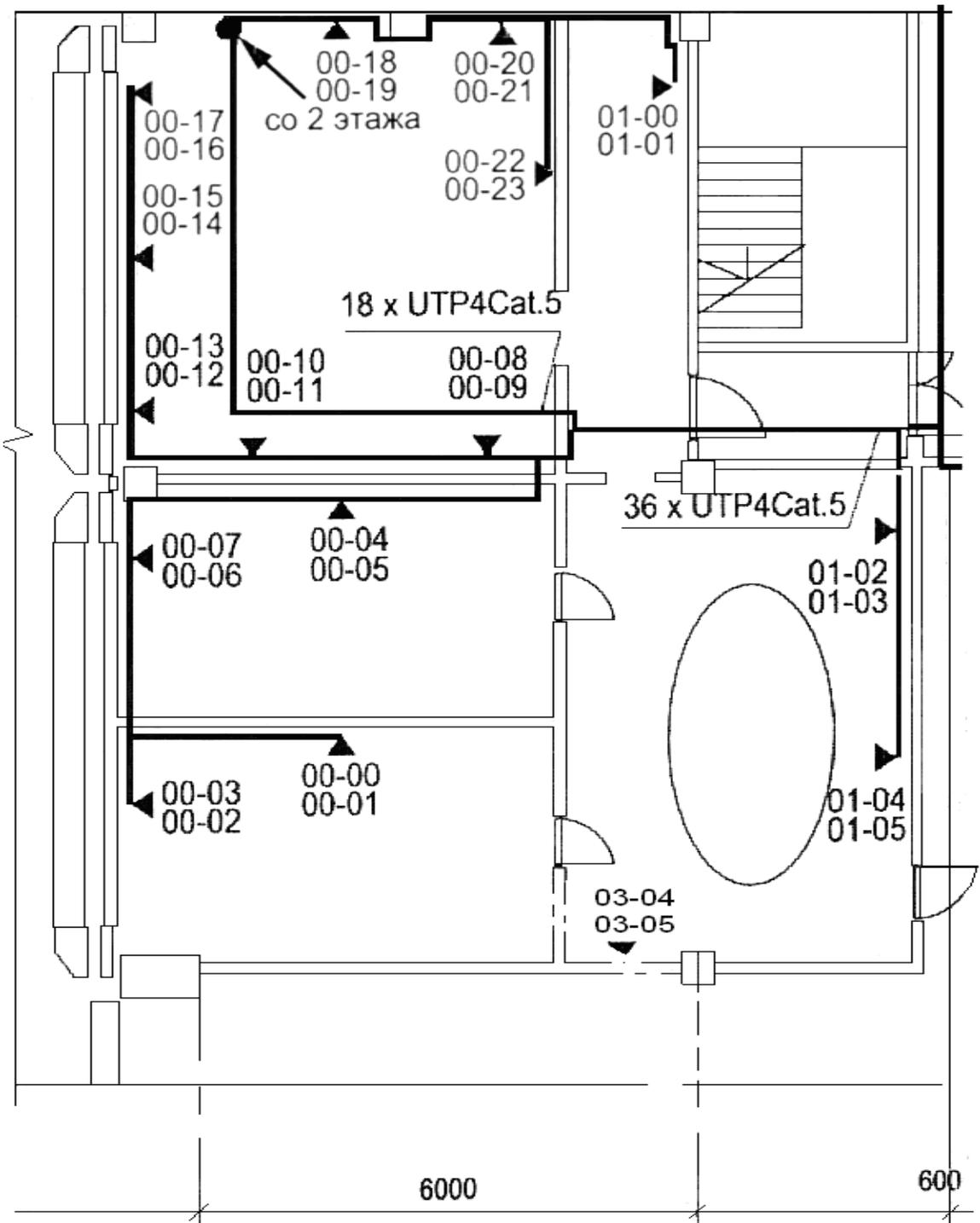


Рис.14.5. План прокладки кабельной системы (фрагмент)

Библиографический список

1. Баканов В. И, Сети ЭВМ и телекоммуникации. [Электронный ресурс] –М.: МГУПИ, 2002. – Адрес доступа: <http://mgupi.ru>.
2. Бельфор В.М., Суриков В.Н. Телекоммуникационные системы в управлении: учебное пособие / СПбГТУРП.- СПб., 2005.
3. Галкин В.А., Григорьев Ю.А. Телекоммуникации и сети. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003.
4. Зайдлер Е.А. Системы передачи дискретной информации. - М.: Связь, 1977.
5. Ирвин Дж., Харль Д. Передача данных в сетях: инженерный подход/ пер. с англ. - СПб.: БХВ-Петербург, 2003.
6. Левин Л.С., Плоткин М.А. Цифровые системы передачи информации. - М.: Радиосвязь, 1982.
7. Мур М., Притски Т., Риге К., Сауфвик П. Телекоммуникации: Руководство для начинающих/ пер. с англ. - СПб.: БХВ – Петербург, 2003.
8. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы.- 3-е изд.- М. - СПб.: Питер, 2006.
9. Скляров О.К. Современные волоконно-оптические системы передачи, аппаратура и элементы. - М.: Солон-р, 2001.
10. Убайдуллаев Р.Р. Волоконно-оптические сети. - М.: Экотренс, 1998.

Учебное издание

Виктор Михайлович Бельфор

Валерий Николаевич Суриков

СЕТЕВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ АСУ

Учебное пособие

Редактор и корректор Н. П. Новикова
Техн. редактор Л. Я. Титова

Темплан 2012 г., поз. 102

Подп. к печати 18.12.2012. Формат 60×84/16. Бумага тип. № 1. Печать
офсетная. Уч.-изд. л. 7,5 . Усл.печ.л. 7,5. Тираж 100 экз. Изд. № 102.
Цена “С”. Заказ №

Ризограф Санкт-Петербургского государственного технологического
университета растительных полимеров, 198095,
СПб., ул. Ивана Черных, 4.