

Лекция 4.

4.1. Принципы устройства и функционирования волоконно-оптических кабельных систем

4.1.1. Конструктивное устройство волоконно-оптических кабельных систем

Волоконно-оптические (fiber optic) кабели составляют основу волоконно-оптических сетей (ВОЛС), в который передаваемый цифровой сигнал модулируется (как правило с использованием амплитудной модуляции изменением яркости пучка лучей видимого света). ВОЛС обеспечивают передачу данных на очень большие расстояния. В зависимости от типа кабеля и мощности передатчика могут осуществлять передачу данных на расстояния более сотни километров.

Волоконно-оптический кабель обычно (кроме коротких соединительных кабелей, называемых патч-кабелями) представляет из себя несколько оптических волокон (называемых также оптическими жилами), заключенных в сложно устроенную общую оболочку, обеспечивающую защиту каждого из волокон от возможных механических повреждений. Различные жилы одного кабеля могут использоваться для организации нескольких "параллельных" каналов передачи данных, входящих в состав нескольких различных сетей. Существует множество способов организации внутреннего устройства многожильных кабелей, предназначенных для использования в различных условиях прокладки: внутри зданий, в кабельной канализации, в открытом грунте, в условиях воздушной подвески и пр. Многожильные кабели могут "разветвляться" при помощи специальных устройств - оптических муфт. Один из вариантов внутреннего устройства многожильного волоконно-оптического кабеля показан на рис. 1.

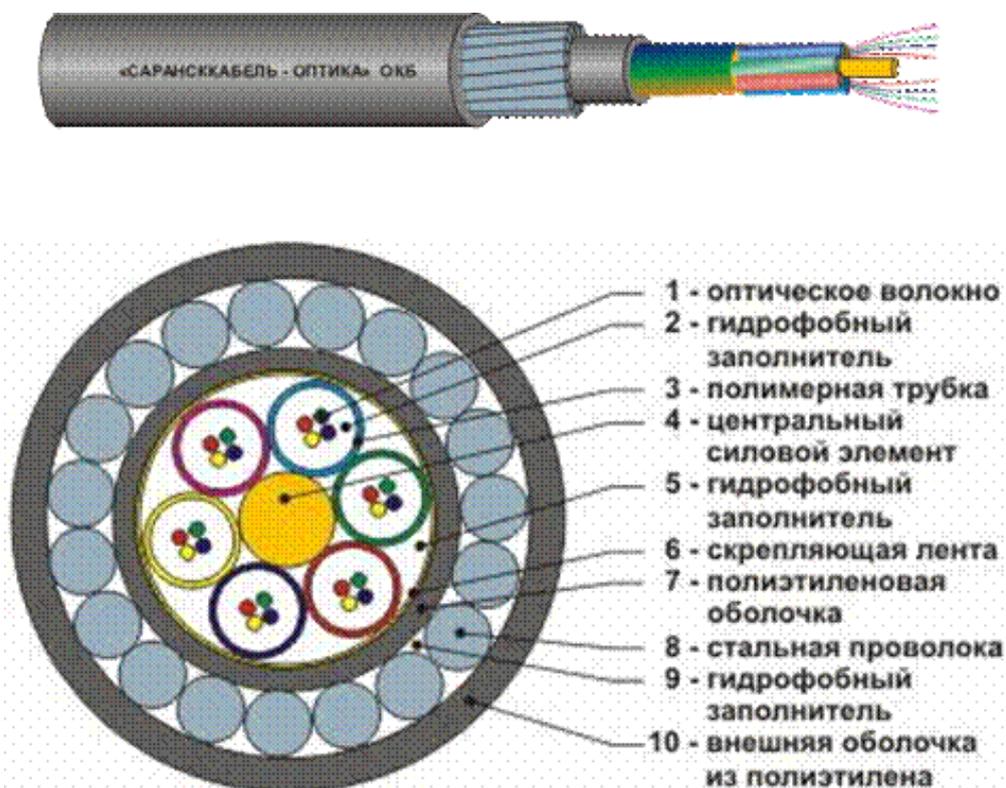


Рис. 1. Вариант устройства 24-жильного волоконно-оптического кабеля

Каждая из оптических жил устроена следующим образом. В центре жилы находится светопроводящий сердечник из собственно оптического волокна (световод), покрытый вначале оболочкой из прозрачного вещества, имеющего другую оптическую плотность (для обеспечения зеркального эффекта цилиндрической поверхности оптического волокна для лучей света, распространяющихся вдоль оси этого волокна), а затем - светонепроницаемой оболочкой.

Вплоть до начала 2000-х годов для организации одного волоконно-оптического канала использовались 2 жилы, каждая из которых обеспечивала передачу сигнала только в одном направлении. Затем были созданы приемопередатчики, устанавливаемые на одной жиле и основанные на применении спектрального мультиплексирования оптического сигнала, передаваемого в различных направлениях на разных частотах.

Для подключения конца жилы к коммуникационному оборудованию (частью которого является непосредственно приемопередающее оборудование), к этому концу методом сварки присоединяется одним своим концом короткий "кусочек" жилы, на второй конец которой в заводских условиях смонтирован (также методом сварки) оптический коннектор, обеспечивающий подключение жилы к соответствующему разъему коммуникационного оборудования. Такие кусочки жилы со смонтированными на них оптическими коннекторами называются пигтэйлами (pig tail - свиной хвост) или "пороссячьими хвостиками" (см. рис. 2). Известны и другие способы монтажа оптических коннекторов. Но использовать их для сколь-либо "дальнобойных" оптических соединений не рекомендуется ввиду худшего качества обеспечиваемых оптических контактов.



Рис. 2. Вид пигтэйла

Существует несколько типов оптических коннекторов: ST, FT, FC и др. Поэтому перед "оконечиванием" жил волоконно-оптического кабеля необходимо выяснить тип оптических разъемов того оборудования, которое планируется подключать через эти жилы.

4.1.2. Физические принципы распространения сигнала в оптическом волокне

Основным физическим принципом передачи оптического сигнала является эффект полного внутреннего отражения распространяющихся по оптическому сердечнику лучей света от цилиндрической “стенки” этого сердечника. Благодаря этому эффекту сигнал успешно распространяется вдоль сердечника даже в случае не строгой параллельности оптической оси этого сердечника входящих в сердечник лучей света и в случае практически всегда имеющих место изгибов сердечника.

В зависимости от толщины сердечника и особенностей пучков света, распространяющихся вдоль оптического волокна, различают два типа кабелей: различаются одномодовые и многомодовые. При этом под модой понимается пучок когерентных (параллельных) лучей света.

Одномодовый кабель (жила) имеет более тонкий сердечник (световод) и через него передается один пучок когерентных лучей света (одна мода). Многомодовый кабель имеет более толстый сердечник и через него передаются несколько мод. В виду указанных различий картина распространения лучей света в кабелях (жилах) указанных типов кабелей выглядит по разному.

В одномодовом кабеле когерентные лучи света остаются параллельными при их многократных отражениях от стенок даже практически всегда изгибающегося в нескольких местах оптического волокна (рис. 3а). При этом каждый из лучей света при достижении некоторой конечной точки пройдет путь одинаковой длины, а значит оптический сигнал (изменение его яркости) несомый каждым из лучей света достигнет этой конечной точки строго в один и тот же момент времени, так что “интегрированный” сигнал четко сохраняет свою форму. Дальность передачи оптического сигнала через такой кабель составляет в зависимости от яркости источника света передатчика от десяти- двадцати до сотни километров.

В многомодовом кабеле (рис. 3б) некогерентные лучи света входят в оптическое волокно под разными углами (по отношению к оси оптического волокна) и завершат прохождение путей равной длины (проходимых за один и тот же промежуток времени) в разных точках оптического волокна. Сигнал, передаваемый лучами с острым углом достигнет конечной точки позже сигнала, передаваемого лучами, входящими в кабель под более тупым углом. В результате чего “интегрированный” сигнал всех лучей оказывается “размазанным” по времени и, при прохождении участка кабеля некоторой критической длины, равной 2-м километрам (для всех известных марок одномодового кабеля) перестает распознаваться.

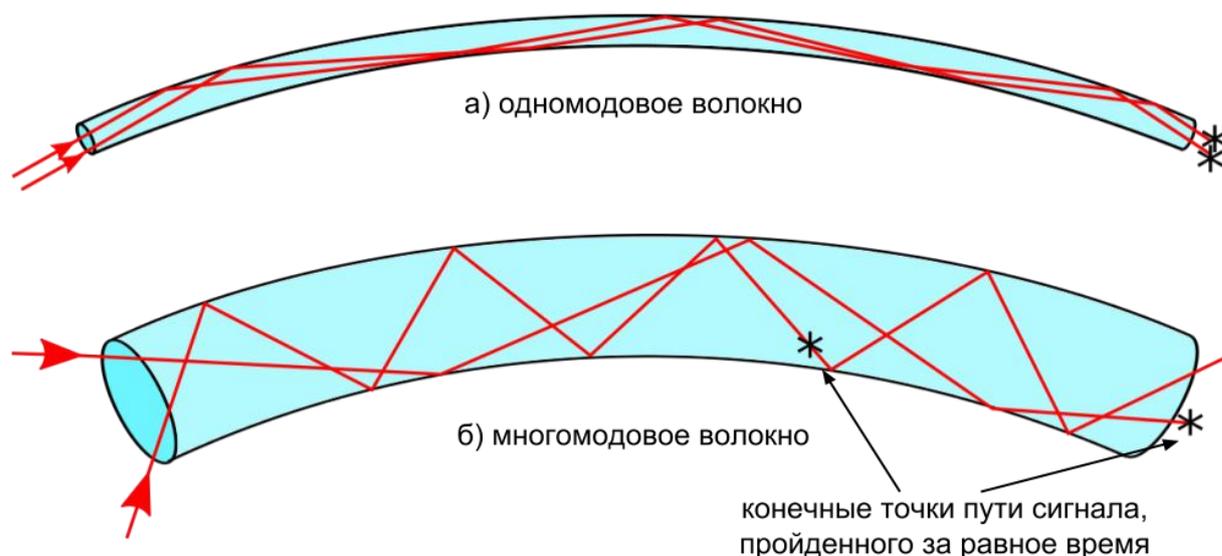


Рис.3. Картина распространения лучей света в кабелях различного типа

Естественно возникает вопрос: зачем же нужен “плохой” многомодовый кабель при наличии “хорошего” одномодового?

Ответ на этот вопрос состоит в огромной разнице в стоимости источников когерентных и некогерентных пучков лучей. Если источником некогерентных лучей может служить крайне дешевый светодиод (Light Emitting Diode - LED), то, как должно быть известно из школьного курса физики, когерентные пучки света генерируются только существенно более дорогими по сравнению с LED лазерами. Даже сегодня, во время широкого распространения относительно недорогих лазерных указок, стоимость LED, устанавливаемых в экраны современных LED-телевизоров более, чем в шести миллионах экземпляров (1920*1080 пикселей экрана и по 3 LED на каждый пиксель) является смехотворно низкой, на многие порядки более низкой, чем стоимость даже самых дешевых лазеров. А во времена появления первых волоконно-оптических каналов (в конце 1970 годов) и еще долгие годы спустя лазеры были очень дорогими устройствами, стоившими сначала тысячи, а потом - сотни долларов.

Поэтому многие из ранее созданных созданных ВОЛС зданий и кампусов построены на базе многомодового кабеля. При создании новых ВОЛС в их рекомендуется создавать сразу на базе одномодового кабеля (в силу ставшей относительно низкой стоимостью приемо-передающего оборудования) с целью унификации используемого оборудования.

4.1.3. Факторы, влияющие на дальность передачи оптического сигнала

Основными физическим явлениями, влияющими на максимально возможную дальность передачи оптического сигнала являются параметры затухания и дисперсии этого сигнала.

Затухание сигнала состоит в уменьшении исходной амплитуды передаваемого сигнала в силу не идеальной прозрачности передающей среды, включающей отрезки кабеля и коннекторные соединения. При этом каждое коннекторное соединение вызывает “ступенчатое” уменьшение амплитуды сигнала, величина которого тем больше, чем ниже качество монтажа коннекторов. В результате затухания при прохождении сигналом определенного расстояния его амплитуда уменьшается настолько, что сигнал перестает восприниматься приемником. Эффект затухания может быть значительно снижен (а дальность

передачи существенно повышена) путем снижения количества и повышения качества коннекторных соединений и путем использования более “дальнобойного” (и более дорогого) приемо-передающего оборудования, использующего передатчики с более мощными (яркими) источниками сигнала и адаптированные к этим передатчикам и возможному эффекту затухания приемниками

Дисперсия сигнала - это его рассеивание (с одновременным разложением на составляющие спектра), вызванные различием коэффициентов преломления различных участков среды передачи и отклонением от строгой перпендикулярности между разделяющей каждую пару таких участков “торцов” отрезков световода и его оптической оси. При наличии указанных условий дисперсии исходный сигнал рассеивается на границах участков среды передачи и из одномодового фактически превращается в многомодовый, что приводит к дальнейшему искажению формы сигнала. Участками среды передачи, вызывающими эффект дисперсии как правило являются воздушные прослойки между торцами световода в соединениях жилы кабеля (через пару коннектор/разъем). При этом эффект будет тем сильнее, чем ниже качество монтажа коннекторов (включая не идеальную шлифовку торцов световода). Степень дисперсии может быть существенно снижена путем снижения количества и повышения качества коннекторных соединений.

4.1.4. Основные преимущества ВОЛС

Очевидно, что **главными преимуществами** волоконно-оптических линий связи по сравнению с любыми другими средами передачи данных являются **максимально высокие скорости и максимальные дальности передачи данных**.

Но указанные достоинства являются далеко не единственными. К другим достоинствам относятся **высокая степень защищенности от механических повреждений, нечувствительность к воздействию внешних электромагнитных полей, защищенность от воздействий атмосферного электричества и ударов молний**.

Кроме того, ВОЛС **надежно защищены от прослушивания**, ибо **они не создают никаких внешних электромагнитных полей** (которые могут быть прослушаны путем использования специальных предназначенных для этого средств). А **“вклинивание” прослушивающего оборудования в “разрез” кабеля** в каких либо неохраняемых точках маршрутов его внешней прокладки практически невозможно, поскольку требуемый для этого монтаж коннекторов **невозможен без использования дорогостоящего и громоздкого сварочного оборудования** и достаточно больших затрат времени, достаточных для автоматического обнаружения факта “разреза” кабеля и определения точки этого “разреза”.

Единственным недостатком ВОЛС является относительно высокая стоимость волоконно-оптического кабеля и его оконечного оборудования. Однако с неуклонным развитием технологий их производства так же **неуклонно снижается** и указанная стоимость. Поэтому сферы применения ВОЛС постоянно расширяются.

4.2. Основы технологии FDDI

4.2.1. Основы топологии и организации работы сегмента FDDI

Технология FDDI (Fiber Distributed Data Interface - распределенный оптический интерфейс (передачи) данных), созданная **в 1985-1988** годах рабочей группой X3T9.5 института ANSI, является первой из технологий построения ЛВС, основанной на **использовании 100 мегабитного волоконно оптического кабеля**.

Эта технология основана на использовании кольцевой топологии ЛВС (маркерный метод захвата среды), в которой узлы кольцевого сегмента ЛВС (узлами могут быть компьютеры (их сетевые карты) и FDDI-концентраторы, предназначенные для подключения в одной точке нескольких компьютеров и/или связи с другими сегментами ЛВС) связываются друг с другом двумя оптическими кольцами, общая длина каждого из которых может достигать 100 км.

Одно из указанных колец является главным (primary). В случае, если это кольцо не содержит повреждений, все кадры передаются только по этому кольцу в одном и том же направлении. Другое, запасное (secondary) кольцо используется при повреждении каналов основного кольца и/или узлов сети. В случае такого повреждения при достижении кадром узла, непосредственно предшествующего точке повреждения, этот кадр направляется текущим узлом в запасное кольцо, по которому кадр пересылается в противоположном направлении и следует по нему до уже упомянутого поврежденного или иного тоже поврежденного узла, на котором он направляется назад в главное кольцо. Такое объединение 2-х колец топологически также является кольцом. В случае единичного повреждения в кольцевой структуре полная кольцевая связность всех неповрежденных узлов сегмента сохраняется. При этом за счет того, что при "путешествии" по запасному кольцу узлы не могут забирать кадры и освободить маркер, порядок обхода узлов также сохраняется.

В случае повреждения кольца в нескольких точках, оно при выполнении рассмотренных действий "распадается" на несколько подколец, каждое из которых обеспечивает связность всех входящих в него узлов (см. Рис.4).

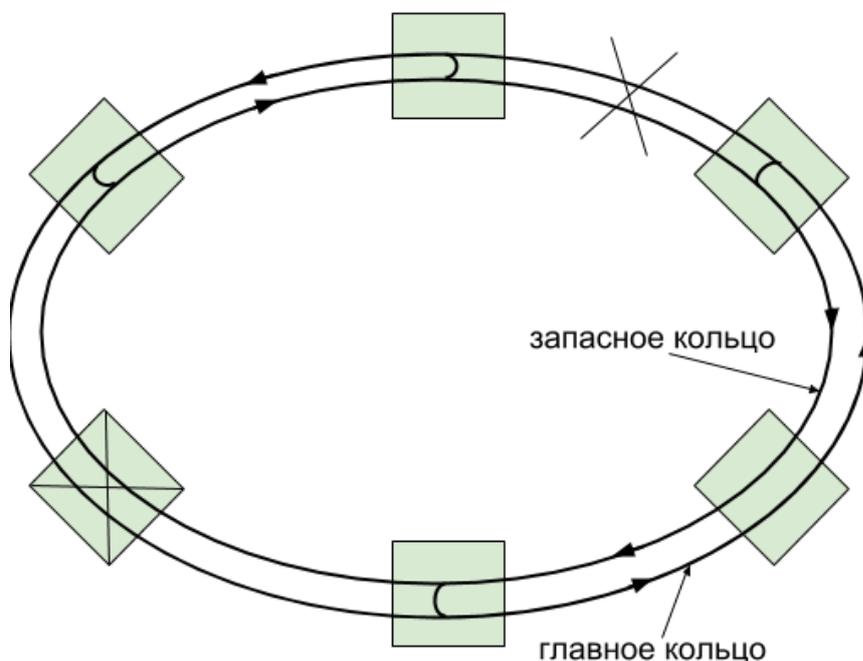


Рис. 4. Реконфигурация двойного кольца FDDI при нескольких повреждениях

4.2.2. Возможности резервирования ёмкости для синхронных подканалов

Технология FDDI позволяет использовать часть общей пропускной способности кольца для передачи синхронного трафика. При этом для каждого узла может быть выделена индивидуальная доля пропускной способности, используемой в режиме синхронной передачи кадров. Оставшаяся часть

пропускной способности используется в асинхронном режиме маркерного доступа, то есть кадры могут передаваться их отправителем через кольцо только путем захвата свободного маркера (маркер - это специальный пакет, постоянно "циркулирующий по кольцу) и присоединению к нему передаваемого кадра. Маркер освобождается получателем кадра при его доставке.

Отметим, что часть полосы пропускания, используемая некоторым узлом в синхронном режиме, может применяться узлом для передачи высокоприоритетного трафика, чувствительного к задержкам, возникающим при его передаче.

4.2.3. Дополнительные замечания и выводы

Отметим также, что на самом деле рассмотренный выше простой метод маркерного доступа, применявшийся в более ранней технологии кольцеобразных сетей Token Ring, в технологии FDDI значительно усовершенствован с целью борьбы с перегрузками доли полосы пропускания, используемой в асинхронном режиме, и с целью уменьшения задержек асинхронных кадров. Однако поскольку технология FDDI была "вытеснена" технологиями Ethernet еще в начале 2000-х годов и поскольку в современных сетевых технологиях метод маркерного доступа не используется, мы не считаем целесообразным сколь либо подробно останавливаться на рассмотрении этих усовершенствований.

В заключение настоящего пункта подведем краткие итоги вклада технологии FDDI в развитие компьютерных сетей. FDDI стала первой из относительно недорогих технологий построения ЛВС, обеспечивших возможности создания высокоскоростных, высоконадежных и весьма пространственно протяженных, а не просто локальных компьютерных сетей. Эта технология одной из первых предоставила механизмы приоритетной передачи трафика, чувствительного к задержкам. Все эти особенности позволили FDDI на протяжении 1990-х годов занимать прочные позиции на рынке доступных сетевых технологий. И не случайно одна из первых компьютерных сетей масштаба города, созданных в 1995 году нашей стране на базе относительно недорогих технологий локальных сетей, Южно-Московская опорная сеть ЮМОС, была основана именно на технологии FDDI. Но, поскольку создатели этой революционной в свое время технологии не смогли найти путей и/или возможностей ее дальнейшего развития, в 2000-х годах эта технология была вытеснена из всех областей ее применения стремительно развивавшимися технологиями семейства Ethernet.

4.3. Основы технологии ATM

4.3.1. История разработки ATM

Технология ATM (Asynchronous Transfer Mode - асинхронный способ передачи данных), достаточно широко применявшаяся в 1990-х годах для создания самых "продвинутых" сетей, была ярчайшей технологией своего времени, претендующей на роль лидерства в области технологий создания как магистральных сетей операторов связи, так и магистралей достаточно больших корпоративных сетей. Однако эти претензии оказались несостоятельными из-за захвата лидирующих позиций технологиями семейства Ethernet. Тем не менее при обзоре технологии ATM, постараемся уделить достаточно внимания тем особенностям ее организации, которые, на наш взгляд, оказали существенное влияние на развитие современных сетевых технологий.

Сразу отметим, что сети ATM являются сетями коммутации ячеек (cell). Термин "ячейка" выбран для именованя короткого пакета, общая длина которого (вместе с заголовком) составляет всего 53 байта.

Началу практического применения технологии ATM с 1990 года предшествовал многолетний период разработки совокупности стандартов этой технологии, выполнявшийся комитетом CCITT (Comité Consultatif International Téléphonique et Télégraphique - международный комитет по телефонии и телеграфии), впоследствии преобразованном в ITU-T (International Telecommunication Union - Telecommunication sector, то есть Сектор телекоммуникаций Международного союза электросвязи). При этом вначале технология ATM разрабатывалась как сеть нижнего уровня для широкополосного варианта B-ISDN технологии ISDN (INtegrated Services Digital Networks - цифровые сети с интегрированным обслуживанием), предоставлявшей услуги прикладного уровня для услуг телефонной связи, видеоконференцсвязи и допускавшей ее использование для передачи данных IP-сетей. Именно для обеспечения максимально низких задержек при передаче голосовых данных в 1988 году в качестве длины ячейки было выбрано значение 53, что явилось компромиссом, между значениями 64 и 32, предлагавшимися соответственно специалистами из США и из Европы. После начала эксплуатации технологии ATM ее развитием стал заниматься ATM Forum (имеющий одноименный сайт) - консорциум производителей оборудования ATM.

4.3.2. «Изюминки» организации работы ATM

Перейдем к рассмотрению организации работы и ярких возможностей сетей ATM. Как упоминалось выше, сети ATM являются сетями с коммутацией ячеек. Коммутаторы сетей ATM связаны между собой волоконно оптическими каналами передачи данных. Эти каналы (и соединяемые ими порты коммутаторов могут обеспечивать одну из 2-х скоростей передачи данных: 155,5 Мбит/сек и 622 Мбит/сек (это ровно в 4 раза больше первой из скоростей)). Отметим, что скорости каналов Ethernet и FDDI составляли в то время всего лишь 10 и 100 Мбит/сек соответственно

Из 53 байт ячейки ATM 48 байт отведены для поля данных, таким образом, длина заголовка ячейки составляет всего 5 байт. Возникает естественный вопрос: а каким образом в 5-байтной ячейке может поместиться адресная информация, если адрес устройства в сети ATM, так же как и MAC-адрес устройств, подключаемых к сетям Ethernet, занимает 6 байт?

Ответ состоит в том, что полная адресная информация передается в поле данных ячейки, лишь при установлении соединения между двумя подключенными к сети ATM устройствами. В заголовках пакетов, пересылаемых в рамках уже установленного соединения вместо адресной информации передается информация, позволяющая идентифицировать потоки данных, имеющих отношение к рассматриваемому соединению, и выполнять коммутацию на базе этой информации.

К информации, о потоках данных, имеющих отношение к соединению относятся 2-байтное поле VCI (Virtual Channel Identifier - идентификатор виртуального канала) и поле VPI (Virtual Path Identifier - идентификатор виртуального пути) длиной 1 или 1,5 байт для соединений 2-х разных типов. Здесь VCI - это идентификатор потока данных соединения, а VPI - идентификатор агрегированного потока данных, включающего потоки нескольких соединений, передаваемых в одном направлении. И здесь крайне важно отметить то, что значения VPI и VCI не являются постоянными при прохождении через все коммутаторы, задействованные в реализации соединения, а меняются каждым коммутатором. Это связано с тем, что для «вычисления» значения VCI, уникального для всех коммутаторов сети, требуется ресурсоемкий протокол «переговоров» между всеми коммутаторами сети. Поэтому разработчиками ATM

создано оригинальное решение, основанное на том, что значение VCI (и VPI) ячейки уникально внутри каждого коммутатора и меняется перед передачей в следующий коммутатор сети.

Для того, чтобы подробнее рассказать, как это делается, рассмотрим в общих чертах, что происходит в коммутаторах при установлении соединения между парой устройств сети ATM. С одной из сторон соединения посылается ячейка запроса на установление соединения, содержащая в поле данных полную адресную информацию. При прохождении этой ячейки через сеть коммутаторов ATM ими выполняется маршрутизация этой ячейки, в процессе которой определяется не только направление (порт) следования всех ячеек соединения, но и значение VCI, которое должно заменить в заголовке ячейки текущее значение VCI. При этом строится строка таблицы коммутации по значению VCI, вид которой изображен на рис.5.

№ входного порта	Входной VCI	№ выходного порта	Выходной VCI
i	vci ₁	j	vci ₂

Рис. 5. Вид таблицы коммутации по значению VCI

Тогда после завершения установления соединения при поступлении на коммутатор любой ячейки из порта с номером i и со значением VCI равным vci₁ выполняется замена этого значения в заголовке ячейки на значение vci₂, а сама ячейка отправляется в порт с номером j.

В процессе установления соединения кроме таблицы коммутации по значению VCI строится таблица коммутации по значению VPI. В нее заносятся строки, соответствующие агрегированным совокупностям всех строк таблицы коммутации по VCI, содержащих одинаковые значения i и j. Таким образом, в этой 2-й таблице содержится информации об агрегированных маршрутах соединений, проходящих через данный коммутатор по общему пути.

Тогда при выполнении коммутации ячейки коммутатор сначала пытается выполнить коммутацию на основе более короткой таблицы коммутации по значению VPI и только в том случае, если маршрут соединения уникален по направлениям пересылки через данный коммутатор, выполняет коммутацию с использованием более длинной таблицы коммутации по значению VCI. Такая коммутация выполняется очень быстро, что способствует уменьшению задержек при пересылке ячеек через сеть ATM.

Отметим что разработанная в технологии схема изменения значений идентификаторов потоков данных при прохождении через коммутатор нашла свое отражение в схеме изменения значения метки MPLS при прохождении потока MPLS через маршрутизатор, коммутирующий по меткам. Технология MPLS рассматривается нами в одной из следующих лекций.

4.3.3. Средства обеспечения качества обслуживания (QoS) в ATM

Важным нововведением в сетевые технологии, сделанным при создании технологии ATM является предоставляемая этой технологией возможность обеспечения разных классов качества сетевого обслуживания QoS (Quality of Service). В ATM различаются (и по разному обслуживаются) пять основных классов потоков данных:

- **Constant Bit Rate (CBR)** - постоянная скорость передачи данных

- **Real Time Variable Bit Rate (RT-VBR)** - переменная скорость передачи данных приложений, работающих в реальном масштабе времени
- **Non-Real Time Variable Bit Rate (NRT-VBR)** - переменная скорость передачи данных для приложений, не работающих в реальном масштабе времени
- **Unspecified Bit Rate (UBR)** - неспецифицированная скорость передачи
- **Available Bit Rate (ABR)** - доступная скорость передачи (остаток незанятой пропускной способности канала).

В сетях операторов связи особенно востребованной оказалась возможность резервирования CIR (жестко выделенной доли пропускной способности канала) в каналах, используемых для подключения сетей подчиненных операторов связи и/или сетей конечных корпоративных абонентов. Для сетей реального времени весьма востребованной оказалась возможность резервирования каналов класса RT-VBR, обеспечивающего гарантированно малые задержки при передаче трафика.

Отметим, что из сетевых технологий, созданных не позднее технологии ATM, ни одна из них не предоставляла возможности обеспечения качества сетевого обслуживания для столь представительного набора классов обслуживания. Лишь в технологии FDDI выделялся класс синхронной передачи пакетов, по сути идентичный классу RT-VBR. А возможность резервирования CIR обеспечивалась технологией Frame Relay (Пересылка кадров), созданной практически одновременно с ATM, но существенно более дешевой и, поэтому широко применявшейся операторами магистральных сетей вплоть до появления технологии MPLS, обеспечившей выполнение этой же и ряда других дополнительных возможностей.

4.3.4. Особенности взаимодействия ATM и IP

Поскольку технология ATM первоначально создавалась как нижний уровень технологии B-ISDN (пытавшейся конкурировать с протоколом IP (3-го уровня), но потом снизившей уровень своих претензий до технологии канального (2-го) уровня), ATM имеет определенные "шероховатости" по части ее взаимодействия с протоколами IP-уровня.

В частности, механизм преобразования IP-адресов в MAC-адреса (протокол ARP) существенно использует режим широковещательных рассылок. Для эмуляции этого режима при использовании технологии ATM разработан механизм серверов LANE (LAN Emulation - эмуляция ЛВС), которому направляются обрабатываемые им запросы на выполнение требуемых широковещательных рассылок.

Следует также отметить, что размер поля данных ячейки ATM неэффективно используется при передаче пакетов протокола ICMP.

4.3.5. Выводы по технологии ATM

В целом технология ATM, несомненно, была ярчайшей технологией канального уровня в 1990-х годах. Построение магистралей крупных сетей на базе этой технологии считалось весьма перспективным. Не случайно в середине 1990-х годов магистральная часть компьютерной сети МГУ им. М.В. Ломоносова была построена на основе технологии ATM. Но уже во времена ее достаточно широкого применения технология ATM обладала одним весьма существенным недостатком. Стоимость сетевого оборудования ATM была в десятки раз выше стоимости оборудования других сетевых технологий. Поэтому после появления в 1998 году технологии Gigabit Ethernet, скорость каналов которого более чем в полтора раза превысила скорость наиболее быстрых каналов ATM, темп внедрения новых сетей ATM резко снизился. А после появления в 2003 году технологии 40Gbit

Ethernet (обеспечившей не только более чем 60-кратное повышение скорости используемых каналов, но и уменьшение задержки, возникающей при пересылке 1518-байтного кадра Ethernet до значения, меньшего, чем задержка, возникающей при пересылке 53-байтной ячейки ATM) дальнейшее распространение ATM практически полностью прекратилось. Тем не менее, идеи и методы, впервые реализованные в технологии ATM, продолжили свою жизнь в других сетевых технологиях.