

# **Тема 6**

## **Региональные компьютерные сети**

Презентацию лекций разработал доцент  
кафедры оптимизации систем управления  
Томского политехнического университета

**Комагоров Владимир Петрович**

**Региональные компьютерные сети (WAN)** представляют собой LAN отдельных предприятий и организаций (или мощные компьютеры), расположенные в пределах города или региона и связанные между собой высокоскоростными магистральными каналами связи.

К числу основных требований, которым должны соответствовать WAN, следует отнести:

- высокую пропускную способность каналов связи и высокую производительность коммуникационного оборудования, обеспечивающих скорость передачи данных от 100 Мбит/с до 1000 Мбит/с;
- возможность одновременной передачи голоса, видео и данных по одному каналу связи;

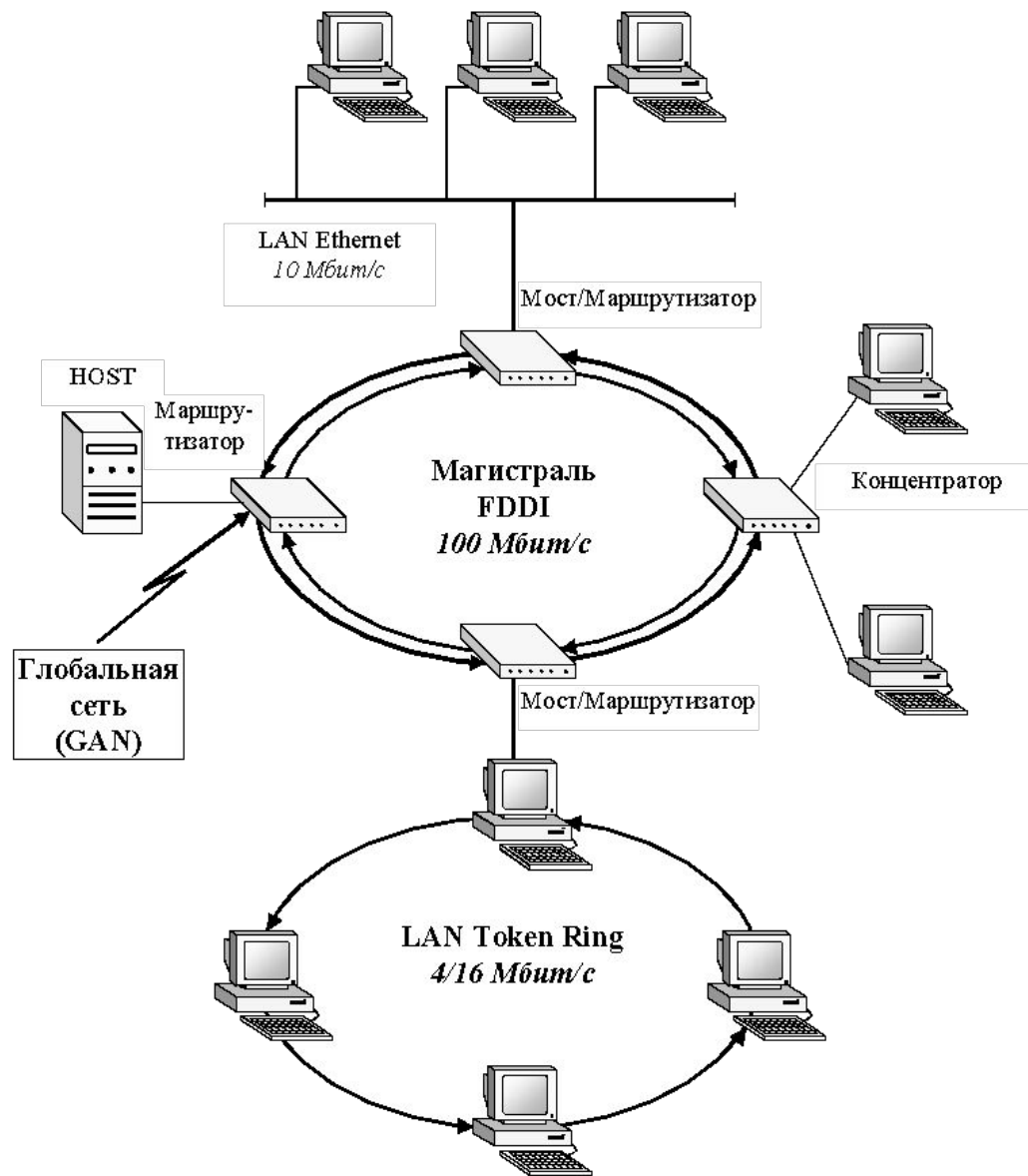
- *экономичность и доступность по цене, сопоставимой с ценами оборудования Fast Ethernet и Gigabit Ethernet;*
- *хорошая совместимость канального и коммуникационного оборудования различных производителей;*
- *масштабируемость и возможность создания виртуальных сетей.*

*Перечисленным требованиям в значительной степени удовлетворяют две технологии построения WAN: FDDI - технология построения двунаправленной кольцевой сети на оптическом волокне со скоростью передачи данных 100 Мбит/с и АТМ - технология коммутации ячеек (Cell) для передачи данных, речи и изображения.*

# Региональная компьютерная сеть FDDI

*Технология FDDI (рис. 37) использует два типа передающей среды (оптическое волокно и витую пару) и позволяет строить сети со скоростью передачи данных 100 Мбит/с. Стандарт FDDI, разработанный комитетом X3T9.5 ANSI, позволил обеспечить совместимость устройств разных производителей.*

*Отказоустойчивость сети FDDI обеспечивается применением двух колец передачи данных. В нормальном состоянии данные передаются только по основному кольцу.*



**Рис. 37. Пример применения технологии FDDI для построения WAN**

*При одиночном физическом разрыве основного кольца (обрыв кабеля, выход из строя рабочей станции) станции по обе стороны места разрыва обнаруживают неисправность и автоматически переключают поток данных на резервное кольцо в направлении, противоположном направлению передачи по основному кольцу. Тем самым сохраняется непрерывность логического кольца передачи данных.*

*В стандарте FDDI определены также методы восстановления после серьезного нарушения целостности кольца (две станции с одним адресом и др.), требующего вмешательства администратора сети. Станция, обнаружившая нарушение, начинает передавать специальные сигнальные кадры (Beacon) до тех пор, пока не получит кадр того же типа от предыдущей станции.*

*В итоге только одна станция остается в состоянии посылки сигнальных кадров. Это означает, что нарушение целостности кольца произошло непосредственно перед данной станцией. Знание места аварии позволяет администратору сети предпринять действия по восстановлению кольца.*

*Применение оптоволоконного кабеля дает сети FDDI ряд преимуществ:*

*Большое расстояние между узлами. Стандарт FDDI определяет, что станции могут находиться на расстоянии до 2 км друг от друга, а общая длина кольца - достигать 100 км при числе станций до 500. Применение специального тонкого оптоволокна (single-mode fiber) и лазерных передатчиков позволяет увеличить расстояние между станциями до 50 км.*

***Нечувствительность к электромагнитным помехам, вызываемым электродвигателями и другими излучающими приборами.***

***Большая степень безопасности. Благодаря тому, что оптоволоконный кабель практически не излучает в радиодиапазоне, передаваемую по нему информацию трудно перехватить удаленными приборами. Это свойство имеет большое значение при построении правительственных, банковских сетей, предъявляющих повышенные требования к защите данных.***

***Развертывание сети FDDI на витой паре обойдется дешевле, чем оптоволоконный вариант (как по цене оборудования, так и стоимости монтажа). Однако в случае использования медного кабеля (сеть CDDI) расстояние между станциями будет ограничено 100 метрами.***



*Канальный уровень сети FDDI точно также, как и в модели IEEE 802, делится на два подуровня: LLC и MAC. Функции и структура кадра подуровня LLC сети FDDI соответствуют стандарту IEEE 802.2. Основными функциями подуровня MAC являются: управление маркером (token), формирование кадров, адресация, обнаружение ошибок и восстановление кольца, а также распределение полосы пропускания между узлами. Структура маркера и информационного кадра сети FDDI соответствуют стандарту IEEE 802.5 (LAN Token Ring). Однако в сети FDDI применяется более эффективный метод передачи данных, называемый ранним освобождением маркера - ETR (Early Token Release).*

*В сети Token Ring данные передаются только с маркером, а в сети FDDI станция, передавшая данные в течение отведенного ей времени, освобождает маркер, не дожидаясь завершения цикла его обращения. Освободившийся маркер может захватить следующая станция и передать свои данные. Тем самым, в сети FDDI в каждый момент времени может циркулировать много пакетов данных, переданных разными станциями.*

*Каждая машина в сети FDDI участвует в процессе инициализации кольца. Всякий раз, когда устройство добавляется в кольцо или покидает его, когда обнаруживается потеря маркера, и в ряде других случаев, начинается процесс, называемый Claim Token.*

*В результате этого процесса станции достигают соглашения о параметрах функционирования сети и начинают передачу маркера и данных от узла к узлу по кольцу. Право формирования маркера получает станция с наименьшим временем TTRT (Target Token Rotation Time) - желаемым временем обращения маркера. Это время устанавливается производителем и может изменяться администратором сети для отдельных станций. Чем меньше время TTRT, тем быстрее маркер обращается по кольцу и тем чаще станции могут передавать данные. Однако если выбрано малое значение TTRT, то станция не сможет передавать много кадров при захвате маркера.*

*Операция передачи данных в сети FDDI состоит из пяти шагов:*

- захват маркера станцией-отправителем;*
- передача данных станцией-отправителем;*
- получение кадра другими станциями и возвращение его в кольцо;*
- считывание кадра станцией-получателем и возвращение его в кольцо;*
- удаление кадра из кольца станцией-отправителем.*

*В стандарте FDDI определены два режима передачи данных: синхронный и асинхронный (с приоритетами).*

*В синхронном режиме станция при каждом захвате маркера может передавать данные в течение определенного времени вне зависимости от того, прибыл ли маркер вовремя или с опозданием. Этот режим обычно используется для приложений, чувствительных к временным задержкам (мультимедиа и др.).*

*После захвата маркера станция начинает передавать данные до тех пор, пока не будут переданы все данные или пока не будет превышено время захвата маркера ТНТ (Token Holding Time). В режиме синхронной передачи данных значение ТНТ фиксировано, в случае асинхронного режима зависит от того, прибыл ли маркер раньше, вовремя или с опозданием относительно минимального среди всех станций времени ТТРТ, определяемого в результате процесса Claim Token.*

*Если передача завершается до истечения времени ТНТ, маркер будет немедленно возвращен в кольцо. Если ТНТ истекло до завершения передачи данных, то для передачи оставшихся данных станция должна ждать следующего захвата маркера.*

*Каждая станция в сети FDDI по очереди принимает кадр и сравнивает адрес назначения с собственным адресом. Если адреса не совпадают, то станция регенерирует кадр и посылает его следующему узлу. Если адреса совпадают, станция помещает кадр в приемный буфер, проверяет на наличие ошибок, делает отметку о приеме данных (или об ошибке) и возвращает кадр в кольцо. Станция-отправитель определяет, успешно ли доставлен кадр, и если да, то удаляет его из сети, если нет - регенерирует его (повторяет передачу ранее отправленного кадра).*



# Региональная компьютерная сеть АТМ

*Основополагающий принцип технологии АТМ - предоставление пропускной способности по требованию.*

*В процессе своего создания сети АТМ ориентировались на скорость в несколько Гбит/с. Достичь таких высоких скоростей передачи помогло исключение накладных расходов на управление потоком и контроль ошибок. Другим существенным фактором, способствующим снижению накладных расходов в технологии АТМ, является метод управления вызовами.*

*В модели ISO/OSI пакеты управления вызовами, используемые для установления и разрыва виртуальных каналов, передаются по тому же самому виртуальному каналу, что и пакеты данных.*

*В АТМ передача сигналов контроля вызова осуществляется по логическому соединению, отличному от используемого для передачи пользовательских данных. В пользовательском интерфейсе один канал управления соединением служит для управления всеми коммутируемыми соединениями передачи данных. Так что промежуточным коммутирующим узлам нет необходимости поддерживать таблицы состояний маршрутов или обрабатывать управляющие вызовами сообщения для каждого соединения в отдельности.*

*В качестве пакета данных в сетях АТМ используется "ячейка" (Cell), имеющая фиксированную длину 53 байта.*



*Каждая ячейка содержит номер логического соединения, используемого для маршрутизации и коммутации потока данных. Порядковые номера ячеек для управления потоком и контроля ошибок отсутствуют. Контроль за правильностью передачи данных от отправителя получателю должен осуществляться на более высоком уровне.*

*В сетях АТМ логические соединения называются виртуальными каналами (*virtual channel*) и устанавливаются по сети между двумя конечными пользователями для двустороннего обмена ячейками с переменной скоростью. Виртуальные каналы используются также для обмена между сетью и пользователем (контрольные сигналы) и между сетью и сетью (управление и маршрутизация в сети).*

*В сетях АТМ принята концепция виртуального пути. Виртуальный путь – это совокупность виртуальных каналов с одними теми же адресами. Таким образом, все передаваемые ячейки по виртуальным каналам одного и того же виртуального пути, также объединяются вместе (мультиплексируются). При этом необходимо отметить, что в сетях АТМ мультиплексирование ячеек осуществляется на втором (канальном) уровне.*

*Принятие концепции виртуальных путей имеет важное значение для организации эффективной передачи данных.*

*Упрощается архитектура сети. Сетевые транспортные функции могут быть разделены на относящиеся к индивидуальным логическим соединениям (виртуальным каналам) и группе логических соединений (виртуальным путям).*

*Увеличивается производительность и надежность сети. Сеть имеет меньшее число взаимодействующих объектов.*

*Сокращается время на обработку и установление соединения. Основная часть работы производится при установке виртуального пути. Добавление новых виртуальных каналов к имеющемуся виртуальному пути требует минимальных затрат.*

*Технология АТМ (Asynchronous Transfer Mode) использует асинхронный режим передачи данных и базируется на технологии коммутации "ячеек" (Cell) и стандарте IEEE 802.6. Главная особенность технологии АТМ в дополнение к высокому диапазону скоростей (от 155 Мбит/с до 2.5 Гбит/с) - ее способность к управлению трафиком мультимедиа (multimedia), изменяющимся от передачи данных и графики до речи и изображений.*

*Режим асинхронной передачи АТМ коммутирует ячейки с фиксированной длиной 53 байта между узлом-отправителем и узлом-получателем как в LAN, так и WAN. Для реализации АТМ необходимы две главные компоненты: коммутаторы и концентраторы АТМ для LAN, серверов и высокопроизводительных рабочих станций.*

*Наибольшее применение технология АТМ находит для передачи больших файлов по магистральным каналам со скоростью от 155 Мбит/с до 622 Мбит/с.*

*В настоящее время сетевые компоненты по технологии АТМ производятся многими известными фирмами (IBM, Cisco, 3Com) и базируются на двух существующих стандартах технологии АТМ: американском стандарте SONET (Synchronous Optical Network) и европейском стандарте синхронной цифровой иерархии SDH (Synchronous Digital Hierarchy).*

*Спецификация SONET определяет иерархию стандартных скоростей передачи цифровых данных. Нижний уровень STS-1 определен в 51.84 Мбит/с. Несколько сигналов STS-1 могут быть объединены в сигнал STS-N. Спецификация устанавливает наивысшую скорость передачи STS-48 в 2.5 Гбит/с.*

*Основным строительным блоком в SONET служит кадр STS-1. Он состоит из 810 октетов и передается каждые 125 мкс при общей скорости передачи данных в 51.84 Мбит/с. Административную и управляющую информацию несут 27 октетов кадра. Весь остаток кадра занимает полезная информация, в том числе 9 служебных октетов на задание пути, не обязательно с первой доступной позиции кадра. Служебные октеты кадра содержат указатель на начало октетов пути.*



*Процесс передачи данных в сети АТМ рассмотрим на примере схемы, приведенной на рис. 38. Она включает в себя следующие основные компоненты: коммутаторы, концентраторы и конечные системы (LAN, сервера и рабочие станции).*

*Концентратор АТМ - это устройство, предназначенное для объединения нескольких конечных систем и подключения их к сети АТМ через коммутатор. Он обычно состоит из нескольких монтируемых в стойку модулей, каждый из которых имеет порты с заданными скоростью и протоколами. В концентраторе АТМ каждая конечная система имеет выделенный прямой канал связи с концентратором, а также необходимое аппаратное и программное обеспечение для интерфейса с конкретным типом локальной сети.*

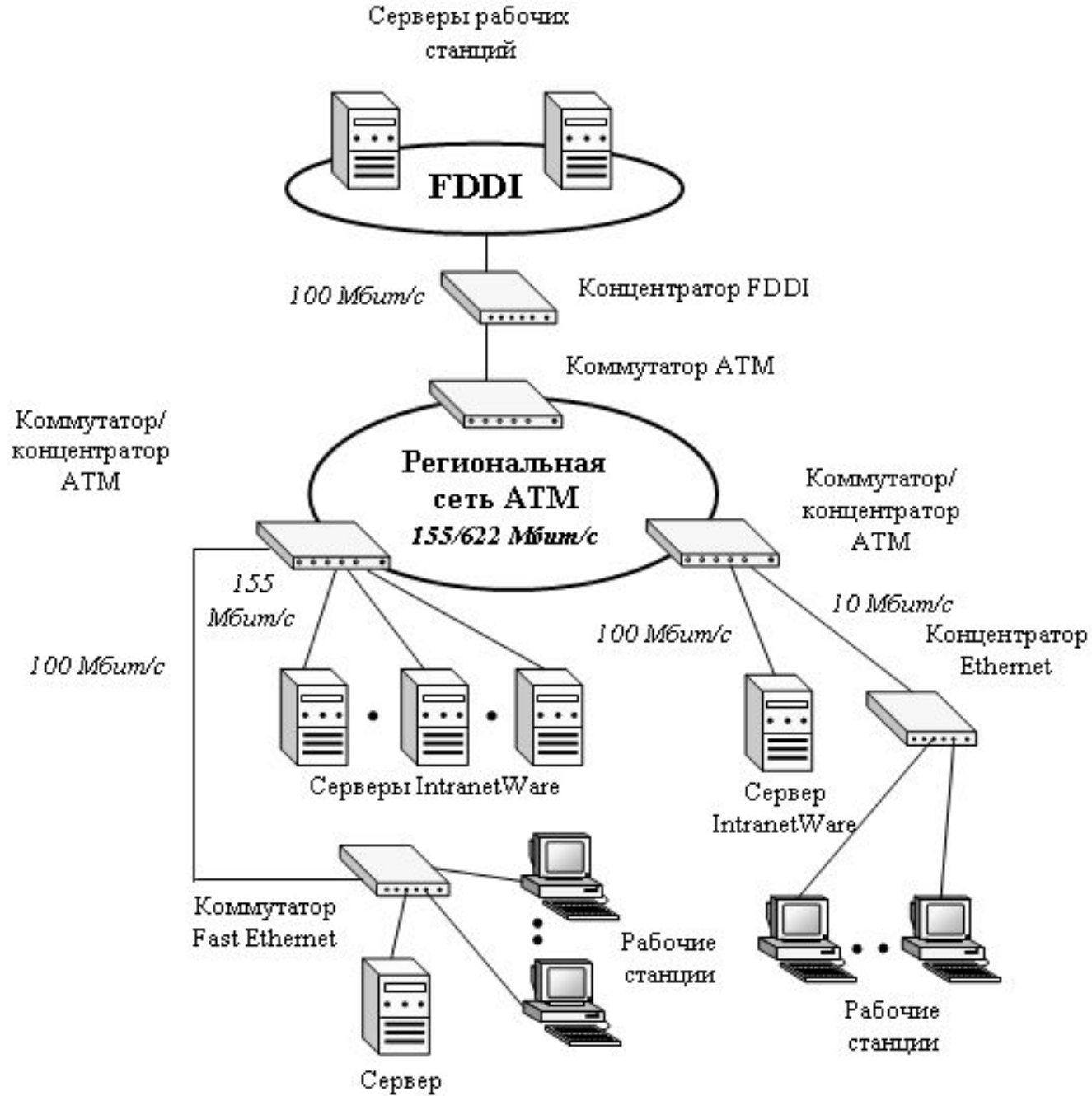


Рис. 38. Схема региональной сети ATM

***Коммутатор АТМ - это устройство, предназначенное для установления виртуальных каналов и коммутации ячеек, передаваемых от источника к потребителю через коммуникационную подсеть сети АТМ. Он имеет несколько входных и выходных линий, число которых, как правило, совпадает, так как соединения являются двусторонними. Коммутаторы АТМ являются синхронными (хотя сам протокол является асинхронным) в том смысле, что во время одного цикла одна ячейка берется с каждой входной линии (если она, конечно, есть), проводится через внутреннюю коммутационную структуру и подается на нужную выходную линию.***

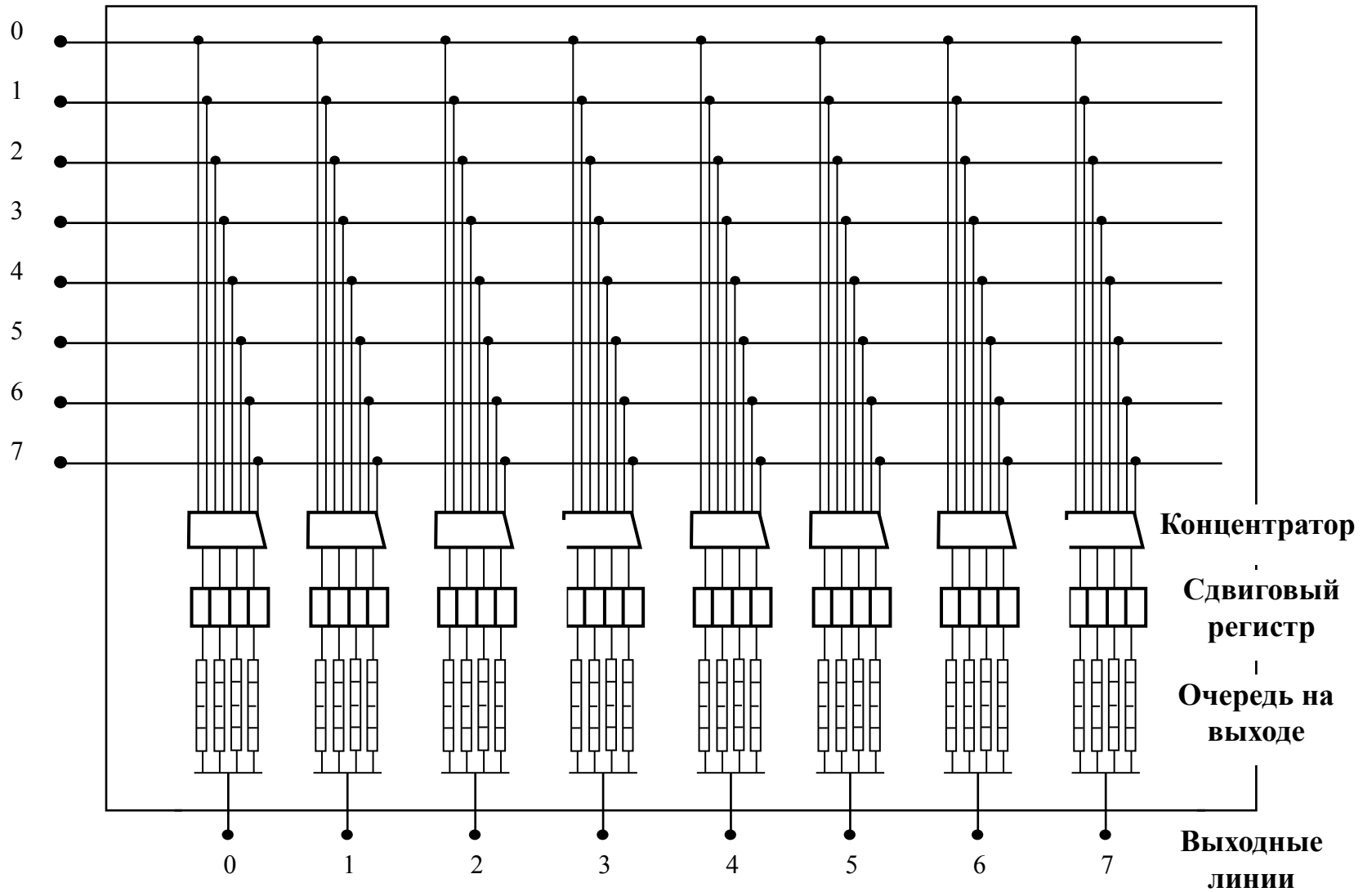


*Коммутаторы могут производить и конвейерную обработку, т.е. обработка поступившей ячейки происходит за несколько циклов, прежде чем она появляется на выходной линии. Ячейки поступают нерегулярно, поэтому начало каждого цикла определяется главным тактовым генератором. Ячейка подвергается обработке, т.е. коммутации, в том случае, если она полностью поступила к началу очередного цикла, иначе она ждет очередного цикла. Если ячейки прибывают со скоростью 155 Мбит/с, то длительность цикла составляет 2.7 мкс, при скорости 622 Мбит/с цикл длится 700 нс.*

*Коммутатор АТМ должен отвечать двум основным требованиям: во-первых, количество потерянных ячеек должно быть минимальным, во-вторых, ячейки, принадлежащие к одному и тому же виртуальному каналу, ни при каких обстоятельствах не могут менять порядок следования. Первое требование в цифровом выражении составляет одну ячейку из  $10^{12}$ , т.е. крупный коммутатор может терять не более 1 - 2 ячеек в час. Второе условие налагает очень жесткие ограничения на схему коммутатора, однако таково требование стандарта АТМ.*

*Рассмотрим принципы функционирования одного из коммутаторов (рис. 39), который получил название коммутатор с выбыванием ячеек.*

**Входные линии**



**Рис. 39. Схема коммутатора АТМ с выбыванием ячеек**

*Одна из основных проблем при разработке принципиальной схемы коммутатора АТМ состоит в том, как поступить, если несколько прибывших одновременно, точнее к началу одного такта, ячеек предназначаются для одной и той же линии. Простейшее решение заключается в передаче одной ячейки и отбрасывании всех остальных. Более эффективным могла бы стать организация очереди для каждой входной линии. Если две или более ячеек нужно передать на одну и ту же выходную линию, то одна ячейка, например взятая случайным образом, коммутируется, а другая ждет следующего цикла. Но здесь может возникнуть другая проблема: ожидающая своей очереди ячейка блокирует все поступившие следом за ней на ту же линию ячейки, которые возможно направляются на другие выходные линии и могли бы быть обработаны.*

*Этот эффект называется блокированием первым в очереди. Кроме того, при большом числе входных линий конфликт может быть обнаружен только тогда, когда ячейки прибывают на выходную линию. Иногда эта проблема решается путем отправки лишних ячеек назад по обратной шине в очередь на входной линии. Однако при этом может возникнуть потенциальная опасность изменения порядка следования ячеек.*

*Альтернативная схема состоит в организации очереди на выходной линии. В этом случае обе ячейки коммутируются, но при этом одна из них передается на выходную линию, а другая становится к ней в очередь. Каждая входная линия коммутатора подключена к шине, на которую поступают ячейки. Наличие всего одного задающего устройства значительно упрощает коммутацию и синхронизацию.*

*Функциональные схемы коммутатора анализируют заголовки каждой поступившей ячейки для определения информации о виртуальном канале, сопоставляют ее с таблицей маршрутов и активизируют соответствующий коммутирующий элемент. Ячейка передается по шине до активного коммутирующего элемента, где она поворачивается в направлении выходной линии. Кроме того, одна ячейка может быть направлена на несколько выходных линий посредством активизации нескольких коммутирующих элементов на широковещательной шине.*

*Простейший способ разрешения конфликтов состоит в помещении всех ячеек в буфер. Однако если коммутатор имеет 1024 входных линии, то в худшем случае потребуется 1024 буферов.*

*На практике ситуация, когда все поступившие ячейки направляются на одну и ту же выходную линию, маловероятна, поэтому разработчики коммутаторов ограничиваются числом буферов  $N$ . В случае такого маловероятного события, как прибытие больше чем  $N$  ячеек, устройство, называемое концентратором, выбирает  $N$  ячеек, а остальные отбрасывает. Концентратор - это интеллектуальная схема для организации отбора ячеек.*

*Желательно, чтобы все выбранные ячейки поместились в одну выходную очередь (если она переполнена, все ячейки отбрасываются). Однако помещение всех ячеек в одну очередь за выделенное время невозможно.*



*Поэтому выходная очередь представляет собой несколько очередей. Прошедшие концентратор ячейки попадают в сдвиговый регистр, который распределяет их равномерным образом между  $N$  выходными очередями. Последовательность отправки ячеек из той или иной очереди отслеживается при помощи маркера.*

*Существенным недостатком коммутатора с выбыванием является наличие большого числа коммутирующих элементов, которое равно квадрату числа линий. При числе линий 1024 число коммутирующих элементов будет более миллиона. В связи с этим, существуют другие способы построения коммутаторов.*