

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
образования «Бурятская государственная сельскохозяйственная академия  
имени В.Р. Филиппова»

ФАКУЛЬТЕТ АГРОБИЗНЕСА И МЕЖКУЛЬТУРНЫХ КОММУНИКАЦИЙ  
Кафедра «Информатика и информационные технологии в экономике»

### КУРСОВАЯ РАБОТА

по дисциплине «Вычислительные системы, сети и телекоммуникаций»  
тема: «Сети и технологии АТМ: характеристика, структура, организация  
функционирования»

Выполнил: обучающийся ФАБиМК  
группы №5202 Колесняк И.Д.  
Руководитель: к.ф.-м.н., доцент  
Садуев Н.Б.

Дата сдачи работы: «16» юл 2019 г.

Защита состоялась: «23» юл 2019 г.

Оценка: отлично

г.Улан-Удэ, 2019 г.

**Отзыв**

**на курсовую работу (проект) по дисциплине**

Вычислительные системы, сети и телекоммуникаций

обучающегося группы 5202 по направлению подготовки (специальности) \_\_\_\_\_

09.03.03 Прикладная информатика

*шифр и наименование направления подготовки (специальности)*

ФГБОУ ВО Бурятская ГСХА

ФИО \_\_\_\_\_ Колесняк И.Д. \_\_\_\_\_

На тему: Сети и технологии АТМ: характеристика, структура, организация функционирования

выполненной (ном) на кафедре Информатика и ИТЭ

Общая характеристика работы:

Курсовая работа состоит из введения, двух разделов, заключения, списка литературы. В работе описаны особенности технологии и работа сети АТМ, ее основные принципы и перспективы использования

Положительные стороны работы \_\_\_\_\_

Рассмотрены особенности, характеристика и работа АТМ, применение и принципы технологии АТМ

Замечания \_\_\_\_\_ замечаний нет \_\_\_\_\_

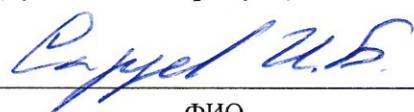
Освоенные в ходе выполнения курсовой работы (проекта) компетенции \_\_\_\_\_

ОПК 3, ПК 5, ПК 11, ПК 18

*коды освоенных компетенций*

Заключение \_\_\_\_\_ курсовая работа соответствует требованиям \_\_\_\_\_

Работа допущена /не допущена к защите (нужное подчеркнуть)

Преподаватель \_\_\_\_\_  \_\_\_\_\_ 

Подпись

ФИО

« 16 » 12 2019г.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
ГЛАВА 1. ОСОБЕННОСТИ, ХАРАКТЕРИСТИКА И РАБОТА АТМ .....	6
1.1. Особенности технологии АТМ.....	6
1.2. Работа сети АТМ.....	10
ГЛАВА 2. ПРИМЕНЕНИЕ И ПРИНЦИПЫ ТЕХНОЛОГИИ АТМ .....	16
2.1. Основные принципы технологии АТМ.....	16
2.2. Перспективы использования АТМ.....	25
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	28
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	30

## ВВЕДЕНИЕ

Глобальные сети (Wide Area Networks, WAN), которые также называются территориальными компьютерными сетями, служат для того, чтобы предоставлять свои сервисы большому количеству абонентов, разбросанных по большой территории. Ввиду большой протяженности каналов связи построение глобальной сети требует очень больших затрат, в которую входят стоимость кабелей и работ по их прокладке, затраты на коммутационное оборудование и промежуточную усилительную аппаратуру, обеспечивающую необходимую полосу пропускания канала, а также эксплуатационные затраты на постоянное поддержание в работоспособном состоянии разбросанной по большой территории аппаратуры сети.

Типичными абонентами глобальной компьютерной сети является локальные сети предприятий, расположенные в разных городах и странах, которым нужно обмениваться данными между собой. Услугами глобальных сетей пользуются также и отдельные компьютеры. Крупные компьютеры класса мэйнфреймов обычно обеспечивают доступ к корпоративным данным, в то время как персональные компьютеры используются для доступа к корпоративным данным и публичным данным Internet.

Широкое распространение корпоративных сетей, которое сегодня стало очевидной тенденцией, приводит к существенным изменениям в архитектуре объединенных вычислительных сетей, в том числе Интернета.

Сегодняшние корпоративные вычислительные сети изначально возникли как островки локальных сетей, связанные друг с другом тоненькими мостиками межсетевых коммуникаций. Простая магистраль Ethernet с небольшой полосой пропускания вполне удовлетворяла тем требованиям, которые предъявлялись к ней при таком взаимодействии между сетями. Однако по мере того, как все большая часть информации и

услуг сосредотачивалась на мощных централизованных серверах, перегруженные маршрутизаторы сетевой магистрали превратились в ее самое узкое место и начали существенно ограничивать взаимодействие между сетями.

Альтернативой технологии Ethernet является технология асинхронного режима передачи (Asynchronous Transfer Mode, ATM), разработанная как единый универсальный транспорт для нового поколения сетей с интеграцией услуг, которые называются широкополосными сетями ISDN.

Сеть ATM имеет классическую структуру крупной территориальной сети - конечные станции соединяются индивидуальными каналами с коммутаторами более высоких уровней. Коммутаторы ATM пользуются 20 - байтными адресами конечных узлов для маршрутизации трафика на основе техники виртуальных каналов.

Технология ATM с самого начала разрабатывалась как технология, способная обслужить все виды трафика в соответствии с их требованиями.

По планам разработчиков единообразие, обеспечиваемое ATM, будет состоять в том, что одна транспортная технология сможет обеспечить несколько перечисленных ниже возможностей.

Передачу в рамках одной транспортной системы компьютерного и мультимедийного (голос, видео) трафика, чувствительного к задержкам, причем для каждого вида трафика качество обслуживания будет соответствовать его потребностям.

Иерархию скоростей передачи данных, от десятков мегабит до нескольких гигабит в секунду с гарантированной пропускной способностью для ответственных приложений.

Общие транспортные протоколы для локальных и глобальных сетей.

Сохранение имеющейся инфраструктуры физических каналов или физических протоколов: T1/E1, T3/E3, SDH STM-n, FDDI.

Взаимодействие с унаследованными протоколами локальных и

глобальных сетей: IP, SNA, Ethernet, ISDN.

Главная идея технологии асинхронного режима передачи была высказана достаточно давно - этот термин ввела лаборатория ввела BellLabs еще в 1986 году.

Целью работы является изучения сети и технологии ATM, ее характеристика, структура и организация функционирования. Объект исследования – сеть ATM, предметом исследования является технология ATM.

Задачами данной курсовой работы являются:

- изучить особенности, характеристики и работу ATM;
- рассмотреть применение и принципы технологии ATM.

В данной работе раскрывается особенность технологии и работы сети ATM, приводятся принципы и перспективы использования ATM.

# ГЛАВА 1. ОСОБЕННОСТИ, ХАРАКТЕРИСТИКА И РАБОТА АТМ

## 1.1. Особенности технологии АТМ

Технология асинхронного режима передачи (Asynchronous Transfer Mode, АТМ) разработана как единый универсальный транспорт для нового поколения сетей с интеграцией услуг, которые называются широкополосными сетями ISDN (Broadband-ISDN, В-ISDN) [5].

Технология АТМ ориентирована на предварительное (перед передачей информации) установление соединения между двумя взаимодействующими пунктами. После установления соединения АТМ-ячейки маршрутизируют сами себя, поскольку каждая ячейка имеет поля, идентифицирующие соединение, к которому она относится.

По технологии АТМ допускается совместная передача различных видов сигналов, включая речь, данные, видеосигналы. Достижимая при этом скорость передачи (от 155 Мбит/с до 2,2 Гбит/с) может быть обеспечена одному пользователю, рабочей группе или всей сети. В АТМ-ячейке не предусматриваются позиции для определенных видов передаваемой информации, поэтому пропускная способность канала регулируется путем выделения полосы пропускания потребителю.

Поскольку передаваемая информация разбивается на ячейки фиксированного размера (53 байта), алгоритмы их коммутации реализованы аппаратно, что позволяет устранить задержки, неизбежные при программной реализации коммутации ячеек [2].

АТМ-технология обладает способностью к наращиваемости, т.е. к увеличению размера сети путем каскадного соединения нескольких АТМ-коммутаторов.

Построение АТМ-сетей и реализация соответствующих технологий возможны на основе оптоволоконных линий связи, коаксиальных кабелей, неэкранированной витой пары. Однако в качестве стандарта на физические

каналы для АТМ выбран стандарт на оптоволоконные каналы связи синхронной цифровой иерархии SDH. Технология мультиплексирования и коммутации, разработанная для SDH, стала АТМ-технологией.

АТМ-технологии могут быть реализованы в АТМ-сетях практически любой топологии, но окончное оборудование пользователей подключается к коммутаторам АТМ индивидуальными линиями по схеме «звезда».

Главное отличие АТМ-технологии от других телекоммуникационных технологий заключается в высокой скорости передачи информации (в перспективе - до 10 Гбит/с), причем привязка к какой-либо одной скорости отсутствует. Важным является и то обстоятельство, что АТМ-сети совмещают функции глобальных и локальных сетей, обеспечивая идеальные условия для «прозрачной» транспортировки различных видов трафика и доступа к услугам и службам взаимодействующих с сетью АТМ-сетей [4].

АТМ-технология допускает использование как постоянных (PVC), так и коммутируемых виртуальных каналов (SVC).

Постоянные каналы PVC представляют собой соединение (после предварительной настройки) между взаимодействующими пользователями сети, которое существует постоянно. Устройства, связываемые постоянным виртуальным каналом, должны вести довольно громоздкие таблицы маршрутизации, отслеживающие все соединения в сети. Следовательно, рабочие станции, соединенные PVC, должны иметь таблицы маршрутизации всех остальных станций сети, что нерационально и может вызывать задержки в передаче.

Коммутируемые виртуальные каналы (SVC) позволяют устранить необходимость ведения сложных таблиц маршрутизации и таким образом повысить эффективность функционирования сети. Здесь соединение устанавливается динамически, при этом используются АТМ-маршрутизаторы. В отличие от традиционных маршрутизаторов, которые

требуют физического подключения сетевого сегмента к каждому из своих портов, в АТМ-маршрутизаторах используется не физическая архитектура с ориентацией на соединения, а виртуальная сетевая архитектура, ориентированная на протоколы. Такие маршрутизаторы необходимы и удобны для создания виртуальной сети, для которой характерной является возможность переключения пользователей, находящихся в любой точке сети, с одного сегмента на другой с сохранением виртуального адреса рабочей группы, что упрощает администратору сети задачу учета изменений списка пользователей [5].

АТМ-технология способна обрабатывать трафики различных классов. В существующих спецификациях предусмотрены четыре класса трафика, которые могут быть в режиме АТМ [23].

Класс А - синхронный трафик с постоянной скоростью передачи и с предварительным установлением соединения. Протокол, обслуживающий трафик этого класса, предназначен для обеспечения потребностей в сетевых услугах при передаче информации с постоянной скоростью (передача и прием АТМ-ячеек по АТМ-пути осуществляются с одной и той же скоростью). Примеры такого трафика - несжатая речь, видеоинформация.

Класс В - синхронный трафик с переменной скоростью передачи и с предварительным установлением соединения (например, сжатая речь, видеоинформация). Здесь, как и в случае трафика класса А, необходимы синхронизация аппаратуры отправителя и получателя и предварительное установление связи между ними, но допускается переменная скорость передачи. Информация передается через фиксированные промежутки времени, но ее объем в течение сеанса передачи может изменяться. Если объем передаваемой информации превышает фиксированный размер одной ячейки, эта информация разбивается на несколько ячеек, сборка которых осуществляется в пункте назначения.

Класс С - асинхронный трафик с переменной скоростью передачи и с

предварительным установлением соединения. Здесь синхронизации аппаратуры отправителя и получателя не требуется. Такой способ передачи необходим в сетях с коммутацией пакетов (сети X.25, Интернет, сети с ретрансляцией кадров). Трафик класса C, видимо, станет основным для передачи информации в глобальных сетях.

Класс D - асинхронный трафик с переменной скоростью передачи и без установления соединения. Протокол, управляющий доставкой трафика класса D, разработан для обеспечения многобитовой коммутации данных без установления соединения. В этом протоколе предусматривается использование кадров переменной длины: с помощью передатчика каждый кадр делится на сегменты фиксированного размера, которые помещаются в АТМ-ячейки; приемник собирает сегменты в исходный кадр, завершая таким образом процесс, который называется сегментацией и сборкой. Режим асинхронной передачи основан на концепции двух оконечных пунктов сети (абонентских систем, терминалов), осуществляющих связь друг с другом через совокупность промежуточных коммутаторов. При этом используются интерфейсы двух типов: интерфейс пользователя с сетью (UNI - User-to-Network Interface) и интерфейс между сетями (NNI - Network-to-Network Interface). UNI соединяет устройство оконечного пользователя с общедоступным или частным АТМ-коммутатором, а NNI представляет собой канал связи между двумя АТМ-коммутаторами сети.

Соединение между двумя оконечными пунктами сети возникает с того момента, когда один из них передает через UNI запрос в сеть. Этот запрос через цепочку АТМ-коммутаторов отправляется в пункт назначения для интерпретации. Если узел-адресат принимает запрос на соединение, то в АТМ-сети между двумя пунктами организуется виртуальный канал. UNI-устройства этих пунктов и промежуточные узлы сети (т.е. АТМ-коммутаторы) обеспечивают правильную маршрутизацию ячеек за счет того, что каждая АТМ-ячейка содержит два поля - идентификатор виртуального пути (VPI - Virtual Path Identifier) и идентификатор

виртуального канала (VCI - Virtual Circuit Identifier). Информация, содержащаяся в полях VPI и VCI ATM-ячейки, используется для однозначного решения задачи маршрутизации даже в случае, если у конечной системы организовано несколько виртуальных связей.

Движущей силой развития технологии ATM является ее эффективность в обслуживании низкоскоростных приложений и возможность работы на сравнительно низких скоростях (от 2 Мбит/с). Говорить о «конкуренции» сетей FR и ATM неправомерно, так как в настоящее время FR является основным интерфейсом доступа к сетям ATM, позволяющим обеспечивать передачу по сети ATM разнородного трафика, динамически распределяя полосу пропускания.

Совмещение разнородных телекоммуникационных сетей, построенных на базе различных технологий (X.25, FR, IP и др.), для предоставления пользователям всего спектра услуг в настоящее время возможно только при использовании технологии ATM. Возможности этой технологии по совмещению различных ТСС возрастают, несмотря на их существенные различия, главные из которых состоят: в приспособленности к передаче разнородной информации (данных, голоса, видеоинформации); в возможности полного использования имеющейся полосы пропускания и адаптации к качеству каналов связи; в наличии и качестве интерфейсного оборудования связи с другими сетями; в степени рассредоточенности элементов сети, а также в степени распространенности в том или ином регионе.

## 1.2. Работа сети ATM

Протокол ATM занимает в стеке протоколов ATM примерно то же место, что протокол IP в стеке TCP/IP или протокол LAP-F в стеке протоколов технологии frame relay. Протокол ATM занимается передачей ячеек через коммутаторы при установленном и настроенном виртуальном

соединении, то есть на основании готовых таблиц коммутации портов. Протокол АТМ выполняет коммутацию по номеру виртуального соединения, который в технологии АТМ разбит на две части - идентификатор виртуального пути (Virtual Path Identifier, VPI) и идентификатор виртуального канала (Virtual Channel Identifier, VCI). Кроме этой основной задачи протокол АТМ выполняет ряд функций по контролю за соблюдением трафик-контракта со стороны пользователя сети, маркировке ячеек-нарушителей, отбрасыванию ячеек-нарушителей при перегрузке сети, а также управлению потоком ячеек для повышения производительности сети (естественно, при соблюдении условий трафик-контракта для всех виртуальных соединений) [14].

Протокол АТМ работает с ячейками следующего формата.

Поле Управление потоком (Generic Flow Control) используется только при взаимодействии конечного узла и первого коммутатора сети. В настоящее время его точные функции не определены.

Поля Идентификатор виртуального пути (Virtual Path Identifier, VPI) и Идентификатор виртуального канала (Virtual Channel Identifier, VCI) занимают соответственно 1 и 2 байта. Эти поля задают номер виртуального соединения, разделенный на старшую (VPI) и младшую (VCI) части.

Поле Идентификатор типа данных (Payload Type Identifier, PTI) состоит из трех бит и задает тип данных, переносимых ячейкой, – пользовательские или управляющие (например, управляющие установлением виртуального соединения). Кроме того, один бит этого поля используется для указания перегрузки в сети - он называется Explicit Congestion Forward Identifier, EFCI - и играет ту же роль, что бит FECN в технологии frame relay, то есть передает информацию о перегрузке по направлению потока данных.

Поле Приоритет потери кадра (Cell Loss Priority, CLP) играет в данной технологии ту же роль, что и поле DE в технологии frame relay – в

нем коммутаторы АТМ отмечают ячейки, которые нарушают соглашения о параметрах качества обслуживания, чтобы удалить их при перегрузках сети. Таким образом, ячейки с CLP=0 являются для сети высокоприоритетными, а ячейки с CLP=1 - низкоприоритетными.

Поле Управление ошибками в заголовке (Header Error Control, HEC) содержит контрольную сумму, вычисленную для заголовка ячейки. Контрольная сумма вычисляется с помощью техники корректирующих кодов Хэмминга, поэтому она позволяет не только обнаруживать ошибки, но и исправлять все одиночные ошибки, а также некоторые двойные. Поле HEC обеспечивает не только обнаружение и исправление ошибок в заголовке, но и нахождение границы начала кадра в потоке байтов кадров SDH, которые являются предпочтительным физическим уровнем технологии АТМ, или же в потоке бит физического уровня, основанного на ячейках. Указателей, позволяющих в поле данных кадра STS-n (STM-n) технологии SONET/SDH обнаруживать границы ячеек АТМ (подобных тем указателям, которые используются для определения, например, границ виртуальных контейнеров подканалов T1/E1), не существует. Поэтому коммутатор АТМ вычисляет контрольную сумму для последовательности из 5 байт, находящихся в поле данных кадра STM-n, и если вычисленная контрольная сумма говорит о корректности заголовка ячейки АТМ, первый байт становится границей ячейки. Если же это не так, то происходит сдвиг на один байт и операция продолжается. Таким образом, технология АТМ выделяет асинхронный поток ячеек АТМ в синхронных кадрах SDH или потоке бит физического уровня, основанного на ячейках [10].

Рассмотрим методы коммутации ячеек АТМ на основе пары чисел VPI/VCI. Коммутаторы АТМ могут работать в двух режимах - коммутации виртуального пути и коммутации виртуального канала. В первом режиме коммутатор выполняет продвижение ячейки только на основании значения поля VPI, а значение поля VCI он игнорирует. Обычно так работают

магистральные коммутаторы территориальных сетей. Они доставляют ячейки из одной сети пользователя в другую на основании только старшей части номера виртуального канала, что соответствует идее агрегирования адресов. В результате один виртуальный путь соответствует целому набору виртуальных каналов, коммутируемых как единое целое.

После доставки ячейки в локальную сеть АТМ ее коммутаторы начинают коммутировать ячейки с учетом как VPI, так и VCI, но при этом им хватает для коммутации только младшей части номера виртуального соединения, так что фактически они работают с VCI, оставляя VPI без изменения. Последний режим называется режимом коммутации виртуального канала.

Подход здесь аналогичен подходу в сети ISDN - для установления соединения разработан отдельный протокол Q.2931, который весьма условно можно отнести к сетевому уровню. Этот протокол во многом похож на протоколы Q.931 и Q.933 (даже номером), но в него внесены, естественно, изменения, связанные с наличием нескольких классов трафика и дополнительных параметров качества обслуживания. Протокол Q.2931 опирается на достаточно сложный протокол канального уровня SSCOP, который обеспечивает надежную передачу пакетов Q.2931 в своих кадрах. В свою очередь, протокол SSCOP работает поверх протокола AAL5, который необходим для разбиения кадров SSCOP на ячейки АТМ и сборки этих ячеек в кадры при доставке кадра SSCOP в коммутатор назначения.

Виртуальные соединения, образованные с помощью протокола Q.2931, бывают симплексными (однонаправленными) и дуплексными.

Протокол Q.2931 позволяет также устанавливать виртуальные соединения типа «один к одному» (point-to-point) и «один-ко-многим» (point-to-multipoint). Первый случай поддерживается во всех технологиях, основанных на виртуальных каналах, а второй характерен для технологии АТМ и является аналогом мультивещания, но с одним ведущим

вещающим узлом. При установлении соединения «один-ко-многим» ведущим считается узел, который является инициатором этого соединения. Сначала этот узел устанавливает виртуальное соединение всего с одним узлом, а затем добавляет к соединению с помощью специального вызова по одному новому члену. Ведущий узел становится вершиной дерева соединения, а остальные узлы - листьями этого дерева. Сообщения, которые посылает ведущий узел, принимают все листья соединения, но сообщения, которые посылает какой-либо лист (если соединение дуплексное), принимает только ведущий узел.

Пакеты протокола Q.2931, предназначенные для установления коммутируемого виртуального канала, имеют те же названия и назначение, что и пакеты протокола Q.933, но структура их полей, естественно, другая.

Адресом конечного узла в коммутаторах АТМ является 20-байтный адрес. Этот адрес может иметь различный формат, описываемый стандартом ISO 7498. При работе в публичных сетях используется адрес стандарта E.164, при этом 1 байт составляет AFI, 8 байт занимает IDI - основная часть адреса E.164 (15 цифр телефонного номера), а остальные 11 байт части DSP (Domain Specific Part) [6].

При работе в частных сетях АТМ обычно применяется формат адреса, соответствующий домену международных организаций, причем в качестве международной организации выступает АТМ Forum. В этом случае поле IDI занимает 2 байта, которые содержат код АТМ Forum, данный ISO, а структура остальной части DSP соответствует описанной выше за исключением того, что поле HO-DSP занимает не 4, а 10 байт.

Адрес ESI присваивается конечному узлу на предприятии-изготовителе в соответствии с правилами IEEE, то есть 3 первых байта содержат код предприятия, а остальные три байта - порядковый номер, за уникальность которого отвечает данное предприятие.

Конечный узел при подключении к коммутатору АТМ выполняет так называемую процедуру регистрации. При этом конечный узел сообщает

коммутатору свой ESI-адрес, а коммутатор сообщает конечному узлу старшую часть адреса, то есть номер сети, в которой работает узел.

Кроме адресной части пакет CALL SETUP протокола Q.2931, с помощью которого конечный узел запрашивает установление виртуального соединения, включает также части, описывающие параметры трафика и требования QoS. При поступлении такого пакета коммутатор должен проанализировать эти параметры и решить, достаточно ли у него свободных ресурсов производительности для обслуживания нового виртуального соединения. Если да, то новое виртуальное соединение принимается и коммутатор передает пакет CALL SETUP дальше в соответствии с адресом назначения и таблицей маршрутизации, а если нет, то запрос отвергается [10].

## ГЛАВА 2. ПРИМЕНЕНИЕ И ПРИНЦИПЫ ТЕХНОЛОГИИ АТМ

### 2.1. Основные принципы технологии АТМ

Сеть АТМ имеет классическую иерархическую структуру крупной территориальной сети - конечные станции соединяются индивидуальными каналами с коммутаторами нижнего уровня, которые в свою очередь соединяются с коммутаторами более высоких уровней. Коммутаторы АТМ пользуются 20-байтными адресами конечных узлов для маршрутизации трафика на основе техники виртуальных каналов. Для частных сетей АТМ определен протокол маршрутизации PNNI (Private NNI), с помощью которого коммутаторы могут строить таблицы маршрутизации автоматически. В публичных сетях АТМ таблицы маршрутизации могут строиться администраторами вручную, как и в сетях X.25, или могут поддерживаться протоколом PNNI [2].

Коммутация пакетов происходит на основе идентификатора виртуального канала (Virtual Channel Identifier, VCI), который назначается соединению при его установлении и уничтожается при разрыве соединения. Адрес конечного узла АТМ, на основе которого прокладывается виртуальный канал, имеет иерархическую структуру, подобную номеру в телефонной сети, и использует префиксы, соответствующие кодам стран, городов, сетям поставщиков услуг и т. п., что упрощает маршрутизацию запросов установления соединения, как и при использовании агрегированных IP-адресов в соответствии с техникой CIDR.

Виртуальные соединения могут быть постоянными (Permanent Virtual Circuit, PVC) и коммутируемыми (Switched Virtual Circuit, SVC). Для ускорения коммутации в больших сетях используется понятие виртуального пути - Virtual Path, который объединяет виртуальные каналы, имеющие в сети АТМ общий маршрут между исходным и конечным

узлами или общую часть маршрута между некоторыми двумя коммутаторами сети. Идентификатор виртуального пути (Virtual Path Identifier, VPI) является старшей частью локального адреса и представляет собой общий префикс для некоторого количества различных виртуальных каналов. Таким образом, идея агрегирования адресов в технологии АТМ применена на двух уровнях - на уровне адресов конечных узлов (работает на стадии установления виртуального канала) и на уровне номеров виртуальных каналов (работает при передаче данных по имеющемуся виртуальному каналу) [1].

Соединения конечной станции АТМ с коммутатором нижнего уровня определяются стандартом UNI (User Network Interface). Спецификация UNI определяет структуру пакета, адресацию станций, обмен управляющей информацией, уровни протокола АТМ, способы установления виртуального канала и способы управления трафиком.

Стандарт АТМ не вводит свои спецификации на реализацию физического уровня. Здесь он основывается на технологии SDH/SONET, принимая ее иерархию скоростей. В соответствии с этим начальная скорость доступа пользователя сети - это скорость OC-3 155 Мбит/с. Организация АТМ Forum определила для АТМ не все иерархии скоростей SDH, а только скорости OC-3 и OC-12 (622 Мбит/с). На скорости 155 Мбит/с можно использовать не только волоконно-оптический кабель, но и неэкранированную витую пару категории 5. На скорости 622 Мбит/с допустим только волоконно-оптический кабель, причем как SMF, так и MMF [4].

Имеются и другие физические интерфейсы к сетям АТМ, отличные от SDH/ SONET. К ним относятся интерфейсы T1/E1 и T3/E3, распространенные в глобальных сетях, и интерфейсы локальных сетей - интерфейс с кодировкой 4B/5B со скоростью 100 Мбит/с (FDDI) и интерфейс со скоростью 25 Мбит/с, предложенный компанией IBM и утвержденный АТМ Forum. Кроме того, для скорости 155,52 Мбит/с

определен так называемый «cell-based» физический уровень, то есть уровень, основанный на ячейках, а не на кадрах SDH/SONET. Этот вариант физического уровня не использует кадры SDH/SONET, а отправляет по каналу связи непосредственно ячейки формата АТМ, что сокращает накладные расходы на служебные данные, но несколько усложняет задачу синхронизации приемника с передатчиком на уровне ячеек.

Все перечисленные выше характеристики технологии АТМ не свидетельствуют о том, что это некая «особенная» технология, а скорее представляют ее как типичную технологию глобальных сетей, основанную на технике виртуальных каналов. Особенности же технологии АТМ лежат в области качественного обслуживания разнородного трафика и объясняются стремлением решить задачу совмещения в одних и тех же каналах связи и в одном и том же коммуникационном оборудовании компьютерного и мультимедийного трафика таким образом, чтобы каждый тип трафика получил требуемый уровень обслуживания и не рассматривался как «второстепенный» [2].

Трафик вычислительных сетей имеет ярко выраженный асинхронный и пульсирующий характер. Компьютер посылает пакеты в сеть в случайные моменты времени, по мере возникновения в этом необходимости. При этом интенсивность посылки пакетов в сеть и их размер могут изменяться в широких пределах - например, коэффициент пульсаций трафика (отношения максимальной мгновенной интенсивности трафика к его средней интенсивности) протоколов без установления соединений может достигать до 200, а протоколов с установлением соединений - до 20. Чувствительность компьютерного трафика к потерям данных высокая, так как без утраченных данных обойтись нельзя и их необходимо восстановить за счет повторной передачи.

Мультимедийный трафик, передающий, например, голос или изображение, характеризуется низким коэффициентом пульсаций, высокой чувствительностью к задержкам передачи данных (отражающихся на

качестве воспроизводимого непрерывного сигнала) и низкой чувствительностью к потерям данных (из-за инерционности физических процессов потерю отдельных замеров голоса или кадров изображения можно компенсировать сглаживанием на основе предыдущих и последующих значений).

На возможности совмещения этих двух видов трафика большое влияние оказывает размер компьютерных пакетов. Если размер пакета может меняться в широком диапазоне (например, от 29 до 4500 байт, как в технологии FDDI), то даже при придании голосовым пакетам высшего приоритета обслуживания в коммутаторах время ожидания компьютерного пакета может оказаться недопустимо высоким. Например, пакет в 4500 байт будет передаваться в выходной порт на скорости 2 Мбит/с (максимальная скорость работы порта коммутатора frame relay) 18 мс. При совмещении трафика за это время необходимо через этот же порт передать 144 замера голоса. Прерывать передачу пакета в сетях нежелательно, так как при распределенном характере сети накладные расходы на оповещение соседнего коммутатора о прерывании пакета, а потом - о возобновлении передачи пакета с прерванного места оказываются слишком большими [3].

Подход, реализованный в технологии АТМ, состоит в передаче любого вида трафика - компьютерного, телефонного или видео - пакетами фиксированной и очень маленькой длины в 53 байта. Пакеты АТМ называют ячейками - cell. Поле данных ячейки занимает 48 байт, а заголовок - 5 байт.

Чтобы пакеты содержали адрес узла назначения и в то же время процент служебной информации не превышал размер поля данных пакета, в технологии АТМ применен стандартный для глобальных вычислительных сетей прием - передача ячеек в соответствии с техникой виртуальных каналов с длиной номера виртуального канала в 24 бит, что вполне достаточно для обслуживания большого количества виртуальных соединений каждым портом коммутатора глобальной сети АТМ.

Размер ячейки АТМ является результатом компромисса между телефонистами и компьютерщиками - первые настаивали на размере поля данных в 32 байта, а вторые - в 64 байта.

Чем меньше пакет, тем легче имитировать услуги каналов с постоянной битовой скоростью, которая характерна для телефонных сетей. Ясно, что при отказе от жестко синхронизированных временных слотов для каждого канала идеальной синхронности добиться будет невозможно, однако чем меньше размер пакета, тем легче этого достичь.

Для пакета, состоящего из 53 байт, при скорости в 155 Мбит/с время передачи кадра на выходной порт составляет менее 3 мкс. Так что эта задержка не очень существенна для трафика, пакеты которого должны передаваться каждые 125 мкс.

Однако на выбор размера ячейки большее влияние оказала не величина ожидания передачи ячейки, а задержка пакетизации. Задержка пакетизации - это время, в течение которого первый замер голоса ждет момента окончательного формирования пакета и отправки его по сети. При размере поля данных в 48 байт одна ячейка АТМ обычно переносит 48 замеров голоса, которые делаются с интервалом в 125 мкс. Поэтому первый замер должен ждать примерно 6 мс, прежде чем ячейка будет отправлена по сети. Именно по этой причине телефонисты боролись за уменьшения размера ячейки, так как 6 мс - это задержка, близкая к пределу, за которым начинаются нарушения качества передачи голоса. При выборе размера ячейки в 32 байта задержка пакетизации составила бы 4 мс, что гарантировало бы более качественную передачу голоса. А стремление компьютерных специалистов увеличить поле данных до 64 байт вполне понятно - при этом повышается полезная скорость передачи данных. Избыточность служебных данных при использовании 48-байтного поля данных составляет 10 %, а при использовании 32-байтного поля данных она сразу повышается до 16 %.

Выбор для передачи данных любого типа небольшой ячейки

фиксированного размера еще не решает задачу совмещения разнородного трафика в одной сети, а только создает предпосылки для ее решения. Для полного решения этой задачи технология АТМ привлекает и развивает идеи заказа пропускной способности и качества обслуживания, реализованные в технологии frame relay. Но если сеть frame relay изначально была предназначена для передачи только пульсирующего компьютерного трафика (в связи с этим для сетей frame relay так трудно дается стандартизация передачи голоса), то разработчики технологии АТМ проанализировали всевозможные образцы трафика, создаваемые различными приложениями, и выделили 4 основных класса трафика, для которых разработали различные механизмы резервирования и поддержания требуемого качества обслуживания.

Класс трафика (называемый также классом услуг - service class) качественно характеризует требуемые услуги по передаче данных через сеть АТМ. Если приложение указывает сети, что требуется, например, передача голосового трафика, это означает, что особенно важными для пользователя будут такие показатели качества обслуживания, как задержки и вариации задержек ячеек, существенно влияющие на качество переданной информации - голоса или изображения, а потеря отдельной ячейки с несколькими замерами не так уж важна, так как, например, воспроизводящее голос устройство может аппроксимировать недостающие замеры и качество пострадает не слишком. Требования к синхронности передаваемых данных очень важны для многих приложений - не только голоса, но и видеоизображения, и наличие этих требований стало первым критерием для деления трафика на классы [1].

Другим важным параметром трафика, существенно влияющим на способ его передачи через сеть, является величина пульсаций трафика. Разработчики технологии АТМ решили выделить два различных типа трафика в отношении этого параметра - трафик с постоянной битовой скоростью (Constant Bit Rate, CBR) и трафик с переменной битовой

скоростью (Variable Bit Rate, VBR).

К разным классам были отнесены трафики, порождаемые приложениями, использующими для обмена сообщениями протоколы с установлением соединений и без установления соединений. В первом случае данные передаются самим приложением достаточно надежно, как это обычно делают протоколы с установлением соединения, поэтому от сети АТМ высокой надежности передачи не требуется. А во втором случае приложение работает без установления соединения и восстановлением потерянных и искаженных данных не занимается, что предъявляет повышенные требования к надежности передачи ячеек сетью АТМ.

В результате было определено пять классов трафика, отличающихся следующими качественными характеристиками:

- наличием или отсутствием пульсации трафика, то есть трафики CBR или VBR;
- требованием к синхронизации данных между передающей и принимающей сторонами;
- типом протокола, передающего свои данные через сеть АТМ, - с установлением соединения или без установления соединения (только для случая передачи компьютерных данных).

Очевидно, что только качественных характеристик, задаваемых классом трафика, для описания требуемых услуг оказывается недостаточно. В технологии АТМ для каждого класса трафика определен набор количественных параметров, которые приложение должно задать. Например, для трафика класса А необходимо указать постоянную скорость, с которой приложение будет посылать данные в сеть, а для трафика класса В - максимально возможную скорость, среднюю скорость и максимально возможную пульсацию. Для голосового трафика можно не только указать на важность синхронизации между передатчиком и приемником, но и количественно задать верхние границы задержки и вариации задержки ячеек.

В технологии АТМ поддерживается следующий набор основных количественных параметров:

- Peak Cell Rate (PCR) - максимальная скорость передачи данных;
- Sustained Cell Rate (SCR) - средняя скорость передачи данных;
- Minimum Cell Rate (MCR) - минимальная скорость передачи данных;
- Maximum Burst Size (MBS) - максимальный размер пульсации;
- Cell Loss Ratio (CLR) - доля потерянных ячеек;
- Cell Transfer Delay (CTD) - задержка передачи ячеек;
- Cell Delay Variation (CDV) - вариация задержки ячеек.

Параметры скорости измеряются в ячейках в секунду, максимальный размер пульсации - в ячейках, а временные параметры - в секундах. Максимальный размер пульсации задает количество ячеек, которое приложение может передать с максимальной скоростью PCR, если задана средняя скорость. Доля потерянных ячеек является отношением потерянных ячеек к общему количеству отправленных ячеек по данному виртуальному соединению. Так как виртуальные соединения являются дуплексными, то для каждого направления соединения могут быть заданы разные значения параметров [14].

В технологии АТМ принят не совсем традиционный подход к трактовке термина «качество обслуживания» - QoS. Обычно качество обслуживания трафика характеризуется параметрами пропускной способности (здесь это PCR, SCR, MCR, MBS), параметрами задержек пакетов (CTD и CDV), а также параметрами надежности передачи пакетов (CLR). В АТМ характеристики пропускной способности называют параметрами трафика и не включают их в число параметров качества обслуживания QoS, хотя по существу они таковыми являются. Параметрами QoS в АТМ являются только параметры CTD, CDV и CLR. Сеть старается обеспечить такой уровень услуг, чтобы поддерживались

требуемые значения и параметров трафика, и задержек ячеек, и доли потерянных ячеек.

Соглашение между приложением и сетью АТМ называется трафик - контрактом. Основным его отличием от соглашений, применяемых в сетях frame relay, является выбор одного из нескольких определенных классов трафика, для которого наряду с параметрами пропускной способности трафика могут указываться параметры задержек ячеек, а также параметр надежности доставки ячеек. В сети frame relay класс трафика один, и он характеризуется только параметрами пропускной способности [16].

Необходимо подчеркнуть, что задание только параметров трафика (вместе с параметрами QoS) часто не полностью характеризует требуемую услугу, поэтому задание класса трафика полезно для уточнения нужного характера обслуживания данного соединения сетью.

В некоторых случаях специфика приложения такова, что ее трафик не может быть отнесен к одному из четырех стандартных классов. Поэтому для этого случая введен еще один класс X, который не имеет никаких дополнительных описаний, а полностью определяется теми количественными параметрами трафика и QoS, которые оговариваются в трафик - контракте.

Если для приложения не критично поддержание параметров пропускной способности и QoS, то оно может отказаться от задания этих параметров, указав признак «Best Effort» в запросе на установление соединения. Такой тип трафика получил название трафика с неопределенной битовой скоростью - Unspecified Bit Rate, UBR.

После заключения трафик - контракта, который относится к определенному виртуальному соединению, в сети АТМ работает несколько протоколов и служб, обеспечивающих нужное качество обслуживания. Для трафика UBR сеть выделяет ресурсы «по возможности», то есть те, которые в данный момент свободны от использования виртуальными соединениями, заказавшими определенные

параметры качества обслуживания.

Технология АТМ изначально разрабатывалась для поддержки как постоянных, так и коммутируемых виртуальных каналов (в отличие от технологии frame relay, долгое время не поддерживающей коммутируемые виртуальные каналы). Автоматическое заключение трафик-контракта при установлении коммутируемого виртуального соединения представляет собой весьма непростую задачу, так как коммутаторам АТМ необходимо определить, смогут ли они в дальнейшем обеспечить передачу трафика данного виртуального канала наряду с трафиком других виртуальных каналов таким образом, чтобы выполнялись требования качества обслуживания каждого канала [2].

## 2.2. Перспективы использования АТМ

Технология АТМ расширяет свое присутствие в локальных и глобальных сетях не очень быстро, но неуклонно. В последнее время наблюдается устойчивый ежегодный прирост числа сетей, выполненных по этой технологии, в 20-30 % [21].

В локальных сетях технология АТМ применяется обычно на магистралях, где хорошо проявляются такие ее качества, как масштабируемая скорость (выпускаемые сегодня корпоративные коммутаторы АТМ поддерживают на своих портах скорости 155 и 622 Мбит/с), качество обслуживания (для этого нужны приложения, которые умеют запрашивать нужный класс обслуживания), петлевидные связи (которые позволяют повысить пропускную способность и обеспечить резервирование каналов связи). Петлевидные связи поддерживаются в силу того, что АТМ - это технология с маршрутизацией пакетов, запрашивающих установление соединений, а значит, таблица маршрутизации может эти связи учесть - либо за счет ручного труда администратора, либо за счет протокола маршрутизации PNNL.

Основной соперник технологии АТМ в локальных сетях - технология Gigabit Ethernet. Она превосходит АТМ в скорости передачи данных - 1000 Мбит/с по сравнению с 622 Мбит/с, а также в затратах на единицу скорости. Там, где коммутаторы АТМ используются только как высокоскоростные устройства, а возможности поддержки разных типов трафика игнорируются, технологию АТМ, очевидно, заменит технология Gigabit Ethernet. Там же, где качество обслуживания действительно важно (видеоконференции, трансляция телевизионных передач и т. п.), технология АТМ останется. Для объединения настольных компьютеров технология АТМ, вероятно, еще долго не будет использоваться, так как здесь очень серьезную конкуренцию ей составляет технология Fast Ethernet [21].

В глобальных сетях АТМ применяется там, где сеть frame relay не справляется с большими объемами трафика, и там, где нужно обеспечить низкий уровень задержек, необходимый для передачи информации реального времени.

Сегодня основной потребитель территориальных коммутаторов АТМ - это Internet. Коммутаторы АТМ используются как гибкая среда коммутации виртуальных каналов между IP-маршрутизаторами, которые передают свой трафик в ячейках АТМ. Сети АТМ оказались более выгодной средой соединения IP-маршрутизаторов, чем выделенные каналы SDH, так как виртуальный канал АТМ может динамически перераспределять свою пропускную способность между пульсирующим трафиком клиентов IP-сетей.

Сегодня по данным исследовательской компании Distributed Networking Associates около 85 % всего трафика, переносимого в мире сетями АТМ, составляет трафик компьютерных сетей (наибольшая доля приходится на трафик IP - 32 %).

Хотя технология АТМ разрабатывалась для одновременной передачи данных компьютерных и телефонных сетей, передача голоса по каналам

CBR для сетей ATM составляет всего 5 % от общего трафика, а передача видеоинформации - 10 %. Телефонные компании пока предпочитают передавать свой трафик непосредственно по каналам SDH, не довольствуясь гарантиями качества обслуживания ATM. Кроме того, технология ATM пока имеет недостаточно стандартов для плавного включения в существующие телефонные сети, хотя работы в этом направлении идут.

Что же касается совместимости ATM с технологиями компьютерных сетей, то разработанные в этой области стандарты вполне работоспособны и удовлетворяют пользователей и сетевых интеграторов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

К технологиям глобальных сетей с коммутацией пакетов относятся сети X.25, frame relay, SMDS, АТМ и TCP/IP. Все эти сети, кроме сетей TCP/IP, используют маршрутизацию пакетов, основанную на виртуальных каналах между конечными узлами сети.

Технология АТМ является дальнейшим развитием идей предварительного резервирования пропускной способности виртуального канала, реализованных в технологии frame relay.

Сеть АТМ имеет классическую структуру крупной территориальной сети - конечные станции соединяются индивидуальными каналами с коммутаторами более высоких уровней. Коммутаторы АТМ пользуются 20 - байтными адресами конечных узлов для маршрутизации трафика на основе техники виртуальных каналов.

Технология АТМ поддерживает основные типы трафика, существующие у абонентов разного типа: трафик с постоянной битовой скоростью CBR, характерный для телефонных сетей и сетей передачи изображения, трафик с переменной битовой скоростью VBR, характерный для компьютерных сетей, а также для передачи компрессированного голоса и изображения.

Для каждого типа трафика пользователь может заказать у сети значения нескольких параметров качества обслуживания – максимальной битовой скорости PCR, средней битовой скорости SCR, максимальной пульсации MBS, а также контроля временных соотношений между передатчиком и приемником, важных для трафика, чувствительного к задержкам.

Технология АТМ сама не определяет новые стандарты для физического уровня, а пользуется существующими.

Основным стандартом для АТМ является физический уровень каналов технологий SONET/SDH и PDH. Ввиду того, что АТМ

поддерживает все основные существующие типы трафика, она выбрана в качестве транспортной основы широкополосных цифровых сетей с интеграцией услуг - сетей В-ISDN, которые должны заменить сети ISDN.

Таким образом, широкие возможности АТМ позволяют, помимо всего прочего, внедрять эту технологию плавным и безболезненным образом, в рамках текущей модернизации и расширения сети. При этом пользователи АТМ - сегментов сети получают в свое распоряжение все возможности, предоставляемые этой технологией, плюс доступ к традиционным сетям.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баринов, В.В. Компьютерные сети: Учебник / В.В. Баринов, И.В. Баринов, А.В. Пролетарский. - М.: Academia, 2018. - 192 с.
2. Бройдо, В. Л. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации / В.Л. Бройдо, О.П. Ильина. - М.: Питер, 2016. - 560 с.
3. Виноградов, В. И. Информационно-вычислительные системы. Распределенные модульные системы автоматизации / В.И. Виноградов. - М.: Энергоатомиздат, 2016. - 336 с.
4. Гусева, А.И. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации: Учебник / А.И. Гусева. - М.: Академия, 2016. - 336 с.
5. Замятина, О.М. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации. моделирование сетей.: Учебное пособие для магистратуры / О.М. Замятина. - Люберцы: Юрайт, 2016. - 159 с.
6. Клейнрок, Л. Вычислительные системы с очередями / Л. Клейнрок. - М.: Мир, 2017. - 600 с.
7. Корнеев, В. В. Вычислительные системы / В.В. Корнеев. - М.: Гелиос АРВ, 2016. - 512 с.
8. Кузин, А.В. Компьютерные сети: Учебное пособие / А.В. Кузин, Д.А. Кузин. - М.: Форум, 2018. - 704 с.
9. Луганцев, Л.Д. Компьютерные сети / Л.Д. Луганцев. - М.: МГУИЭ, 2001. - 452 с.
10. Максимов, Н.В. Компьютерные сети: Учебное пособие / Н.В. Максимов, И.И. Попов. - М.: Форум, 2017. - 320 с.
11. Мелехин, В.Ф. Вычислительные машины, системы и сети / В.Ф. Мелехин. - М.: Academia, 2017. - 304 с.
12. Митропольский, Ю.И. Мультиархитектурные вычислительные суперсистемы. Перспективы развития / Ю.И. Митропольский. - М.: Техносфера, 2016. - 146 с.
13. Новожилов, Е.О. Компьютерные сети: Учебное пособие / Е.О.

Новожилов. - М.: Academia, 2017. - 288 с.

14. Олифер, В. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник / В. Олифер, Н. Олифер. - СПб.: Питер, 2016. - 176 с.

15. Панфилов, И. В. Вычислительные системы. Учебник / И.В. Панфилов, А.Н. Свердлик, В.М. Зубков. - М.: ВИКИ им. А. Ф. Можайского, 2015. - 324 с.

16. Пятибратов, А. П. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации / А.П. Пятибратов, Л.П. Гудыно, А.А. Кириченко. - Москва: Высшая школа, 2015. - 512 с.

17. Пятибратов, А.П. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации / А.П. Пятибратов, Л.П. Гудыно, А.А. Кириченко. - М.: Финансы и статистика, 2016. - 400 с.

18. Пятибратов, А.П. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации / А.П. Пятибратов, Л.П. Гудыно, А.А. Кириченко. - М.: Финансы и статистика; Издание 2-е, перераб. и доп., 2017. - 512 с.

19. Сенкевич, А.В. Архитектура ЭВМ и вычислительные системы: Учебник / А.В. Сенкевич. - М.: Academia, 2018. - 320 с.

20. Сенкевич, А.В. Архитектура ЭВМ и вычислительные системы: Учебник / А.В. Сенкевич. - М.: Academia, 2017. - 896 с.

21. Смелянский, Р.Л. Компьютерные сети. В 2 т.Т. 2. Сети ЭВМ / Р.Л. Смелянский. - М.: Academia, 2016. - 448 с.

22. Таненбаум, Э. Компьютерные сети / Э. Таненбаум. - СПб.: Питер, 2019. - 960 с.

23. Чекмарев, Ю. В. Вычислительные системы, сети и коммуникации / Ю.В. Чекмарев. - М.: ДМК Пресс, 2017. - 403 с.

24. Чекмарев, Ю. В. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации / Ю.В. Чекмарев. - М.: "ДМК пресс. Электронные книги", 2017. - 318 с.

25. Шевченко, В. П. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации / В.П. Шевченко. - М.: КноРус, 2015. - 288 с.