

**МИНИСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО СВЯЗИ И ИНФОРМАТИЗАЦИИ**

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ
им. проф. М.А. БОНЧ-БРУЕВИЧА**

Н.Н. МОШАК

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЕТЕЙ АТМ

**Часть 1
Архитектура сети АТМ**

Учебное пособие

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2002**

УДК 621.391.28

Мошак Н.Н. Основы проектирования сетей АТМ. Ч.1. Архитектура сети АТМ: Учебное пособие / СПбГУТ. – СПб, 2002.

Утверждено в качестве учебного пособия редакционно-издательским советом университета.

Рассматривается организация обслуживания разнородного трафика в сети АТМ, которая обеспечивает его совмещение и транспортировку в широкополосных цифровых сетях с интеграцией служб с предоставлением конкретному приложению требуемого качества сервиса QoS (Quality of Service). Приводится анализ архитектуры сети АТМ, а также особенности ее построения и взаимосвязь логической программной и физической структур.

Предназначено для студентов, обучающихся по специальности 071900 «Информационные сети и технологии».

Ответственный редактор – О.С. Чугреев.
Рецензент – В.В. Лохмотко.

© Издание Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, 2002.

ВВЕДЕНИЕ

Анализ развития электронных технологий в США за последние 15 лет, подготовленный специалистами Lucent Technologies (США) в 1998 г. [1], показывает, что за это время скорость работы запоминающих устройств возросла в 90 раз (с 450 до 5 нс), скорость работы центральных процессоров узлов коммутации повысилась в 250 раз (с 1 до 250 Мбит/с), а скорость передачи информации по линиям связи увеличилась в 11 тыс. раз (с 56 Кбит/с до 622 Мбит/с). В связи с этим появилась необходимость в создании высокопроизводительной коммутационной техники для построения широкополосных мультисервисных сетей связи, которая могла бы обеспечить порядка 10 тыс. вызовов в минуту при времени установления соединения не более 100 мкс [1]. В 1987 г. бывшим международным комитетом по телефонии и телеграфии в качестве технической основы сетей такого класса была одобрена технология асинхронного режима передачи (Asynchronous Transfer Mode – АТМ). Указанная технология постановлением Минсвязи России № 176 от 29 января 1997 г. также была рекомендована государственным операторам связи как основа для внедрения мультимедийных услуг в нашей стране. Широкополосные цифровые сети с интеграцией служб (Ш-ЦСИС), построенные на АТМ-технологии, способны обеспечить функционирование самых различных приложений в общей высокоскоростной сетевой среде с заданным качеством обслуживания (QoS – *Quality of Service*) [2-7]. Передача трафика любой природы в сети АТМ осуществляется ячейками (cell) фиксированного размера (53 байт), каждая из которых имеет адрес, идентифицирующий ее связь с конкретным логическим соединением. Последнее поколение АТМ-коммутаторов позволяет обрабатывать до 8 млн. вызовов в час наибольшей нагрузки (ЧНН) и обеспечивать скорость коммутации порядка 1 Тбит/с [1].

Как известно [8, 9], основной проблемой построения любой цифровой сети с интеграцией служб является совмещение разнородных потоков информации в процессе коммутации и передачи с учетом требований к количественным параметрам трафика и качеству его обслуживания, которые задаются соответствующими приложениями. Главной особенностью Ш-ЦСИС на технологии АТМ, в отличие от существующих широкополосных сетевых пакетных технологий, является наличие в ней механизма такого совмещения, который позволяет организовать в сети пять категорий обслуживания поступающей нагрузки с предоставлением требуемого качества сервиса QoS. Таким образом, на основе технологии АТМ в Ш-ЦСИС организована транспортная система (ТС) доставки сообщений или собственно сеть АТМ, которая обеспечивает интеграцию и качественный перенос (транспор-

тировку) разнородного трафика между конкретными сетевыми приложениями с требуемой скоростью.

В настоящее время отсутствуют универсальные методики анализа и синтеза сетей АТМ, базирующиеся на системном подходе к рассматриваемому вопросу. На практике это приводит к значительным излишним капитальным затратам при их создании и неоптимальному использованию конкретным приложением и/или оператором связи сетевых ресурсов: пропускной способности цифровых трактов передачи, вычислительной мощности коммутационного оборудования узлов (коммутаторов АТМ) и емкости их буферных накопителей для промежуточного хранения информации.

Целью настоящей работы является проведение анализа особенности построения архитектуры сети АТМ и определение общих принципов проектирования сетей указанного класса, а также создание инженерных методик расчета основных числовых характеристик их транспортных соединений.

1. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ПЕРЕДАЧЕ ТРАФИКА В Ш-ЦСИС

Анализ и сравнение основных потоков информации, циркулирующих в любой сети с интеграцией служб, показывает, что построение сети указанного класса требует решения задачи совмещения по крайней мере двух типов трафика, а именно: изохронного (речь, видео, факсимиле) и асинхронного (данные, файлы).

Отличительной особенностью изохронного трафика является требование к соблюдению относительно точных временных промежутков между порциями информации на передающем и приемном портах цифрового тракта при ее передаче в реальном времени, т. е. *под изохронностью будем понимать свойство потока информации сохранять при передаче с заданной точностью временное расположение его отдельных элементов*. Передача трафика в реальном времени требует поддержания в сеансе связи заданной величины постоянной составляющей сетевой задержки (называемой сетевой задержкой - network delay, задержкой передачи или транзитной задержкой – transit delay, а также запаздыванием - latency), а заданный уровень изохронности определяет величину переменной составляющей сетевой задержки или ее флуктуации (jitter). Обеспечение требуемого уровня изохронности, который может быть допущен в сети АТМ, важен по двум причинам. Во-первых, в любых сетях с пакетной коммутацией величина переменной составляющей сетевой задержки должна быть по крайней мере меньше, чем величина требуемой изохронности передачи (например, для передачи речи [10, 11] в силу психофизиологических особенностей человека она должна заканчиваться ко времени возобновления звучания в пункте назначения вновь прибывших речевых сегментов и полезно знать точность, с которой это возобновление звуковых сегментов должно происходить). Во-вторых, проектируемые сети АТМ должны обеспечивать поддержание переменной задержки в заданных границах для различных типов изохронного трафика и эти границы должны быть известны. В дальнейшем под изохронным трафиком будем понимать цифровую речь как наиболее характерный трафик из данного класса.

Асинхронный трафик в отличие от изохронного допускает сравнительно большие вариации постоянной задержки, требует высокой достоверности передачи информации и не критичен к поддержанию изохронности при передаче по каналам связи. Далее под асинхронным трафиком будем понимать диалоговые данные, требующие для своей передачи минимальной сетевой задержки по сравнению с другими видами трафика из указанного класса.

Рассмотрим основные информационные потоки, циркулирующие в сетях с интеграцией служб, и наиболее характерные требования, предъявляемые к режимам их передачи.

1.1. Особенности передачи речевых сигналов

Влияние переменной и постоянной задержек на качество речевого сигнала

Речь традиционно трактуется как трафик от непрерывного источника, имеющий чередующиеся периоды активности и молчания. Речевая информация допускает представление как в аналоговой, так и в цифровой форме. Речевая информация обладает смысловой избыточностью и допускает значительный уровень искажений.

Основное влияние на качество субъективного восприятия речевых сигналов, прошедших через цифровую систему связи, оказывают следующие два фактора [11]:

- длина речевого сегмента (РС);
- сохранение непрерывности РС.

Под речевым сегментом понимается отрезок речевого сигнала, состоящего из системы активных звуковых фрагментов, чередующихся с паузами, длина которых меньше или равна наперед заданной величине. Эту величину назовем формирователем РС (ФРС). Речевой сегмент преобразуется и кодируется в цифровой системе как единое целое, образуя своеобразное речевое «сообщение». Временная дискретизация осуществляется на уровне законченных РС, т. е. на уровне непрерывных смыслоразличительных звуков или фонем. Длина РС не настолько коротка, чтобы содержать только одно слово или слог, но и не настолько длинна, чтобы содержать одну фразу или изречение. Обычно длина РС выбирается таким образом, чтобы при его обработке и транспортировке сохранялась непрерывность звучания звуковых фрагментов на приемном конце линейного цифрового тракта (ЛЦТ). Таким образом, при построении любой сети с интеграцией служб необходимо так спроектировать ее систему доставки информации, чтобы существенно уменьшить воздействие переменной (случайной) составляющей сетевой задержки на качество воспроизведения звуковых сигналов.

Известны два основных подхода к обработке и транспортировке речевых сигналов через цифровую систему передачи:

1) способ передачи с промежуточным накоплением (пакетизированная речь) или способ передачи с асинхронным временным уплотнением (АВУ);

2) способ передачи с синхронным временным уплотнением (СВУ).

Отметим основные недостатки передачи пакетизированной речи, которые сильно влияют на субъективное восприятие речевых сигналов [10, 12-14]: случайное время прибытия РС, обгоны, потеря отдельных РС, переполнение сборочного буфера и т.д. Как показывают измерения, разборчивость речи начинает снижаться, когда задержка РС становится сравнимой с его длительностью (например, длительностями порядка 60-200 мс) [14]. Отсюда следует, что более значительные задержки допустимы при более длинных РС. Однако при введении ФРС большой длины происходит неэффективное использование канальных ресурсов, так как длины периодов молчания, равные или меньшие длины ФРС, превращаются в «активные» части речевого сегмента. Вариация задержки речевых пакетов на 65-100 мс при средней задержке 165 мс приводит к низкому качеству звучания речи [15]. Другой эффект, который необходимо учитывать при проектировании пакетной сети с интеграцией служб, связан с тем, что аномалия сетевых задержек речевых пакетов, превышающая 50 мс, должна приходиться на менее чем 1% от всех переданных пакетов [16].

Кроме воздействия переменной (случайной) составляющей сетевой задержки, на качество воспроизведения звуковых сигналов у абонента-получателя также влияет и фиксированная (постоянная) задержка, связанная с проводкой и обработкой речевых пакетов по сети и восстановлением из них РС. Задержка передачи речевого сигнала вызывает два нежелательных явления [17]: «эхо» и «наложение речи». Эффект «эхо» (прослушивание абонентом собственного голоса) возникает при величине задержки распространения звукового сигнала от источника к приемнику и обратно больше 50 мс. Согласно рекомендации Сектора по стандартизации телекоммуникаций Международного союза электросвязи (ITU-T) G.114 «наложение речи» (эффект, при котором речь одного говорящего прослушивается в телефоне другого в тот момент, когда он ведет активный разговор) возникает, когда величина односторонней задержки в канале связи составляет более 150 мс.

При передаче РС по цифровому тракту, использующему метод временного синхронного уплотнения, для сохранения непрерывности звучания речевых сигналов необходимо постоянно контролировать и управлять величиной переменной составляющей сетевой задержки [18], что позволяет избавиться от процесса восстановления (сборки) речевых сигналов РС на приемном конце. При этом длина ФРС становится важным параметром детектора пауз в речевом сигнале.

Статистика речевых сигналов, необходимая для формирования РС

В [10] анализируется речевой сигнал, обосновывается возможность передачи речи в цифровом виде и очерчивается круг проблем, связанный с этим. Методы кодирования речи разделяются на два основных класса, называемых кодированием волны (прямое цифровое кодирование речевых сигналов с использованием разнообразных приемов снижения скорости их передачи) и кодированием источника (моделирование голосового аппарата с применением подходящих методов оценки параметров модели).

Метод кодирования волны включает в себя непосредственное кодирование формы речевого сигнала. Для прямого цифрового кодирования речевых сигналов, помимо стандартного метода ИКМ, при котором для передачи речи требуется 64 Кбит/с полосы пропускания (речевой сигнал обрезают по высокой частоте, от него берутся отсчеты с частотой 8 кГц и квантуются с использованием 8 бит на отсчет), было разработано несколько алгоритмов, использующих корреляционные свойства речевых сигналов. Основная идея при этом заключается в том, что для кодирования производной от речевого сигнала требуется меньше бит, чем для кодирования его волны. Поэтому вместо кодирования отдельных отсчетов, как в ИКМ, для передачи кодируют разность между соседними отсчетами. Алгоритмы этого типа (например, адаптивная дифференциальная ИКМ, вложенная адаптивная дифференциальная ИКМ и т.д.) дают очень разборчивую речь при использовании полосы пропускания порядка 16-33 Кбит/с [17], а так как эти алгоритмы относительно просты, они могут быть реализованы в дешевой аппаратуре.

Дальнейшее снижение скорости передачи речи основано на устранении избыточности, содержащиеся в речевом сигнале. При этом по каналу связи передаются не сами закодированные речевые волны, а параметры, выделенные из речевого сигнала, которые позволяют восстановить речевой сигнал на приеме. Существует прямая корреляция между сложностью, стоимостью и скоростью передачи кодеров-декодеров речи, называемых вокодерами. Вокодеры являются системами анализа-синтеза речи, основанные на моделях речепреобразования (канальные и полосовые вокодеры, фонемные вокодеры, вокодеры с линейно-прогнозируемым кодированием, или липредеры и т.д.). Наиболее перспективным в этой области является цифровой вокодер с линейно-прогнозируемым кодированием (ЛПК).

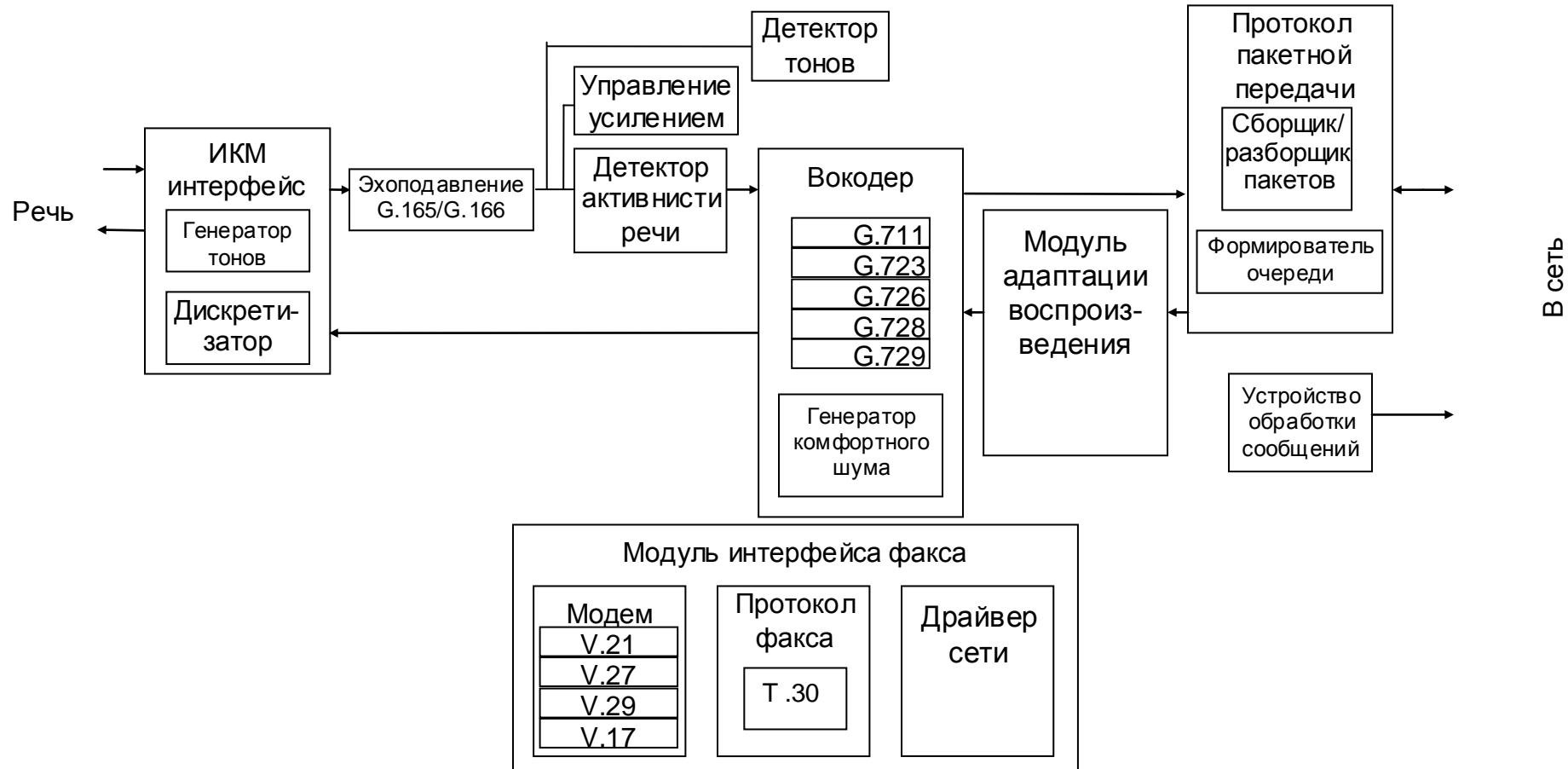


Рис.1. Структурная схема модуля пакетирования речевого сигнала

В нем речевой сигнал моделируется в виде линейной комбинации (обычно 12) речевых эталонов с переменными весами (прогнозируемыми весами). Этот алгоритм позволяет понизить скорость преобразования с 16 до 7 Кбит/с. Более сложные методы сжатия речи, основанные на применении метода ЛПК в сочетании с элементами кодирования формы сигнала, позволяют снизить скорость передачи до 5,3 Кбит/с [17].

Специфика речевых сигналов такова, что их прием и передача в речевом терминале происходит непрерывно. Однако это не согласуется с их информационным содержанием. В связи с этим для того, чтобы использовать 60-65% времени простоя канала, занятого под речевое соединение, в периоды появления пауз необходимо ввести в систему передачи детектор пауз в речевом сигнале (в виде устройства или соответствующих протоколов обработки). В [17] приводится краткое описание структурной схемы модуля пакетирования речевого сигнала, в основные функции которого входит: преобразование речевого сигнала в цифровую форму, кодирование речевого сигнала, эхоподавление, обнаружение активности речи, компенсация джиттера, сборка/разборка пакетов (рис. 1).

Как показывают эксперименты, влияние переменной составляющей сетевой задержки наиболее ощутимо при наличии коротких пауз между словами по сравнению с более длинными паузами между фразами и изречениями. Отсюда следует, что выбор длины РС в сетях с интеграцией служб, в которых реализован способ передачи информации с промежуточным накоплением, необходимо производить с учетом статистики речевых сигналов.

Как уже отмечалось выше, основное назначение ФРС состоит в том, чтобы: 1) «шунтировать» очень короткие периоды молчания в речевых сигналах, что приводит к уменьшению темпа поступления РС в систему передачи; 2) связывать аномалии сетевой задержки в основном со сравнительно «длинными» периодами молчания (известно [19], что «длинные» периоды молчания могут быть изменены на 50% без заметного снижения разборчивости); 3) устранять такой недостаток детектора речевых пауз, как обрезание краев РС.

Анализ влияния длины ФРС на частоту поступления РС и эффективную (фактическую) активность речи, проведенный в [20], позволяет сделать вывод, что диапазон значений длины ФРС 135-180 мс является достаточным для того, чтобы надлежащим образом исключить короткие паузы. Анализ зависимости эффективной речевой активности и частоты поступления РС от длины ФРС показывает, что при изменении длины ФРС от 135 до 180 мс разница в активности составляет лишь 2,5%. В [20] приводится описание эксперимента по оценке влияния переменной задержки на качество восприятия речевых сигнала-

лов, а также зависимость средней длительности РС и средней длительности периода молчания, для монологической английской речи и фиксированного порога срабатывания детектора пауз, от длины ФРС. Средняя продолжительность периода молчания изменялась в отношении 5:1 (от 120 мс до 600 мс). Это указывает на то, что короткие паузы между словами и слогами поглощались, в то время как продолжительные паузы между фразами и предложениями сохранялись. При этом средняя длина РС изменялась в отношении 10:1 (от 200 мс до 2 с). Эти факторы объясняют тот поразительный «психологический» эффект, который возникает от влияния ФРС на качество восприятия речевых сигналов.

Выбор алгоритма кодирования речи для конкретного применения зависит от ограничений на скорость передачи, требований к качеству звучания и разборчивости синтезированной речи, акустических шумов в окружающей среде и т.д. Как правило, при уменьшении скорости передачи сложность устройств для кодирования-декодирования растет, качество звучания падает, а влияние искажений и шумов на разборчивость увеличивается [17].

Таким образом, особенности передачи речевых сигналов вытекают из анализа их свойств, приведенных, например, в [10, 11, 21, 22], а именно:

- определяет заданную величину изохронности передачи речевого сигнала;
- на разборчивость речи значительное влияние оказывает переменная составляющая случайной задержки речевого сигнала при передаче его по сети связи. Доля речевых пакетов, задержка которых превышает на 50 мс допустимую величину переменной составляющей сетевой задержки, не должна превышать 1% от общего количества переданных пакетов [16];
- при поддержании изохронности передачи особое внимание должно быть уделено сохранению непрерывности передачи речевого сигнала в реальном времени, т. е. обеспечению постоянной составляющей сетевой задержки. Задержка в передаче сигналов от абонента до абонента не должна превышать величины порядка 300 мс в связи с психофизиологическими особенностями восприятия речевых сигналов человеком;
- вероятность ошибки в канале связи допускается порядка 10^{-2} , так как передача речевых сигналов в цифровой форме, как правило, не нуждается в защите от ошибок. При использовании низкоскоростных РПУ возможна защита помехоустойчивым кодом отдельных фрагментов речевых блоков в режиме исправления ошибок;
- сравнительно редкие вставки и/или выпадения фрагментов речевых сигналов слабо влияют на качество воспроизведения речи. В

зависимости от избыточности цифрового сигнала на выходе речепреобразующих устройств (РПУ) и длительности речевых сегментов (от 250 до 16 мс), допустимый уровень потерь составляет от 1 до 50% времени активности абонента [21];

- Для повышения использования пропускной способности канала связи при передаче речевой информации необходимо учитывать статистику речевых сигналов, так как доля пауз в телефонном разговоре составляет в среднем 56% в сеансе связи, при этом суммарная продолжительность кратких перерывов в слитной речи длительностью от 5 до 200 мс как внутри слов, так и между словами, занимает около 15% [21];

- для речевого канала требуется постоянная полоса пропускания шириной от 5,3 Кбит/с до 64 Кбит/с в зависимости от применяемых методов кодирования речевого сигнала для устранения его избыточности [17].

1.2. Передача факсимильной информации

При передаче факсимильной информации (штриховая, фототелеграф, цветное факсимиле и др.) сеть связи должна обеспечить:

- соблюдение изохронности передачи сигналов в силу необходимости синхронизации скоростей разверток передающего и приемного аппаратов и их фазирования по крайней мере на длину одной строки. Например, в факсимильной аппаратуре общего назначения допускается перекося изображения не более 1 мм на каждые 100 мм развертки по кадру, т. е. менее 1%, а точность фазирования должна быть не больше 3 мм. Величина допуска изохронности передачи сигналов зависит от выбора разрешающей способности, показывающей, сколько линий может быть разрешено (отлично) на 1 мм длины сканирующим лучом при передаче изображения. Последняя полностью определяется требованиями, предъявляемыми к качеству изображений и их назначению, и лежит в пределах от 3-4 лин/мм (обычная документация) до 400 лин/мм (факсимильная передача микрофильмов, данных микроскопии);

- обеспечение постоянной составляющей времени задержки, например, для обычной факсимильной связи она не должна превышать 250 мкс;

- вероятность ошибки в канале связи до 10^{-3} , так как факсимильный способ передачи информации обладает высокой помехоустойчивостью и не нуждается в защите от ошибок в силу большой информационной избыточности (возможен прямой контроль ошибок). Передача полутоновых изображений, сжатых JPEG, осуществляется в режиме коррекции ошибок;

- скорость передачи факсимильных сообщений от 2400 до 14400 бит/с, а время передачи одной страницы текста формата А4 в обычном черно-белом режиме – в среднем от 10 до 30 с.

На сегодняшний день ITU-T стандартизированы основные параметры и протоколы факсимильной группы 3 для обмена черно-белыми, серыми и цветными полутоновыми изображениями по коммутированным телефонным сетям общего пользования.

1.3. Передача видеоинформации

Видеоинформация состоит из последовательности неподвижных изображений (кадров), которые воспроизводятся с частотой 25-30 кадр/с. При передаче каждый кадр интерпретируется как объединение некоторого числа фиксированных точек (пикселей) с определенной яркостью и цветом. Конкретная скорость передачи зависит от разрешения (числа пикселей в кадре), частоты кадров (числа кадров в секунду), количества информации для представления каждого пикселя (бит на пиксель) и в зависимости от требуемого качества изображения может изменяться в широких пределах: от единиц до сотен мегабит в секунду. Например, для производственных условий, где изображения должны передаваться в реальном времени с постоянной скоростью, для достижения высокого качества видеосигнала, может потребоваться скорость передачи до 1,8 Гбит/с. Указанная пропускная способность необходима также для цифрового кино. Необходимо отметить, что видеоинформация обладает довольно большой избыточностью и при ее передаче могут применяться различные методы уплотнения. В этом случае передача сигнала осуществляется с переменной скоростью, хотя отдельные видеокадры генерируются с постоянной скоростью, т. е. объем данных для представления каждого кадра различен [22]. Выбор стандарта сжатия (например, MPEG, M-JPEG, H.261) определяет степень сжатия видеоинформации и соответственно качество передаваемого сигнала, а также необходимую полосу пропускания, например, 4-5 Мбит/с (MPEG-2) или 15-21 Мбит/с в случае применения стандарта M-JPEG.

Видеоинформация предъявляет те же требования к сети связи, что и факсимильная, однако качество канала связи и его пропускная способность должны быть достаточно высокими [22]. Например, сеть АТМ, транспортирующая поток MPEG-2, должна гарантировать долю потерянных ячеек (*Cell loss ratio* - CLR) менее чем $1,7 \times 10^{-9}$, значение постоянной составляющей сетевой задержки ячеек (*Cell transfer delay* - CTD), равное 4 мс (не более 150 мкс на коммутатор), и флуктуацию переменной составляющей сетевой задержки (*Cell delay variation* - CDV) не выше 500 мкс для соединений типа «точка-точка».

Величина CTD может варьироваться в широком диапазоне [22]. В то время как низкоскоростная 64 Кбит/с видеоконференция может допускать величину транзитной задержки CTD=300 мкс, высокоскоростная видеоконференция 1,5 Мбит/с требует гарантии CTD=5 мкс, а для видео HDTV должна быть гарантирована величина CTD=1 мкс.

1.4. Особенности передачи данных

Основные особенности передачи данных по сети связи состоят в следующем:

- требуется высокая достоверность передачи, не допускаются вставки и выпадения отдельных порций информации. Необходимо применение надежных способов обнаружения ошибок и повторной передачи соответствующих блоков данных;
- отсутствуют жесткие требования к величине постоянной задержки информации в сети и к ее дисперсии, хотя для некоторых интерактивных приложений могут существовать ограничения на транзитную задержку, определяемые требованиями времени отклика;
- допускается произвольный и независимый темпы передачи и приема данных в сети;
- требуется организация многорежимного обмена данными (диалоговая передача, передача файлов и др.) и разветвленная система приоритетов;
- каналы связи используются, как правило, высокого качества с вероятностью ошибки не ниже 10^{-4} ;
- требования к ширине полосы пропускания лежат в широких диапазонах: от десятков Кбит/с для низкоскоростных интерактивных приложений до тысяч Мбит/с для приложений, ориентированных на работу с графическими данными.

1.5. Особенности передачи мультимедийного трафика

Требования к передаче приложения мультимедиа определяются комбинацией различных видов трафика, передаваемых по сети: аудио и видео, интерактивные данные и графика, факсимиле и неподвижные изображения и др. При одновременной передаче разных типов информации для устранения смещения (skew) по времени может потребоваться синхронизация передачи разных потоков. Например, для обеспечения синхронизации речи с движением губ на приеме смещение во времени между аудио- и видеоинформацией не должно превышать 120 мс [22]. Как правило, для передачи мультимедийных приложений требуется значительная полоса пропускания.

Ясно, что столь противоречивые требования, предъявляемые различными типами информации к передаче, требуют создания Ш-ЦСИС с таким набором режимов работы и функциональных возможностей или служб, чтобы обеспечить пользователям возможность передавать трафик любой природы. Причем пользователь может не знать, каким образом эта передача обеспечивается, и какие ресурсы сети для этого привлекаются. Он только запрашивает определенную услугу на передачу того или иного вида информации и необходимый дополнительный сервис.

1.6. Организация обслуживания трафика в сети АТМ

Как было отмечено выше, требование к изохронности передачи информации является одним из главных при делении типов трафика на классы. Другим важным параметром, существенно влияющим на способ передачи трафика в сети АТМ, является величина его пульсаций. Сеть АТМ обслуживает трафик с постоянной битовой скоростью и с переменной битовой скоростью. К разным классам были отнесены также трафики, порождаемые приложениями, использующими для обмена сообщениями протоколы с установлением соединения или без установления соединения. В результате, разработчиками технологии АТМ было определено четыре класса трафика, основные характеристики которых приведены в табл. 1.

Таблица 1.

Класс трафика	Характеристика
А	Постоянная битовая скорость. С установлением соединения. Требуется изохронность передачи трафика (аудио-, видеоинформация).
В	Переменная битовая скорость. С установлением соединения. Требуется изохронность передачи трафика (уплотненная аудио-, видеоинформация).
С	Переменная битовая скорость. С установлением соединения. Требования к изохронности передачи трафика не предъявляются (неравномерный компьютерный трафик сетей TCP/IP, X.25, frame relay). Требования к достоверности передачи высокие.
Д	Переменная битовая скорость. Без установления соединения. Требования к качеству передачи трафика не предъявляются (компьютерный трафик UDP, Ethernet, SNMP).

Указанным классам трафика сеть АТМ (в терминах АТМ Forum) предоставляет определенные категории обслуживания, которые поддерживаются одноименными службами:

1. Служба, поддерживающая постоянную битовую скорость передачи (CBR - *Constant Bit Rate*) – ориентирована в основном на пере-

дачу трафика класса А с установлением соединения, поддержанием максимальной постоянной битовой скорости и изохронности передачи end-to-end в виртуальном CBR-соединении с эмуляцией режима коммутации каналов (аналог синхронного режима передачи). При этом в сеансе связи физические ресурсы сети закрепляются за соединением «жестко» и не могут быть предоставлены другим пользователям до его окончания. Служба CBR резервирует максимальную полосу пропускания заранее и гарантирует качество передачи любого типа трафика с требуемыми параметрами QoS без анализа природы передаваемой информации;

2. Служба, поддерживающая переменную битовую скорость передачи в реальном времени (*VBRrt - Variable Bit Rate real time*) – предоставляет услуги для передачи трафика класса В с установлением соединения, поддержанием средней переменной битовой скорости и заданной изохронности передачи в реальном времени. Может быть использована для передачи, например, цифровой речи с применением механизмов подавления пауз и компрессии, сжатого видео (например, MPEG) и др. Служба VBRrt также гарантирует заданное качество передачи информации, но в отличие от службы CBR, поддерживает среднюю переменную битовую скорость передачи и максимальный размер пульсаций трафика. При передаче служба VBRrt анализирует природу трафика для выбора конкретного метода его обработки из-за применения различных видов компрессии;

3. Служба, поддерживающая переменную битовую скорость передачи не в реальном времени (*VBRnrt - Variable Bit Rate non real time*) – предоставляет услуги для передачи трафика класса С с установлением соединения без соблюдения изохронности передачи;

4. Служба, поддерживающая доступную битовую скорость передачи (*ABR - Available Bit Rate*) – предоставляет услуги для передачи трафика класса С с установлением соединения и поддержанием минимальной переменной битовой скорости в ABR-канале. Обеспечивает заданную достоверность передачи данных, некритичных к задержкам, с предоставлением пользователю невостребованной (доступной) полосы пропускания физического канала;

5. Служба, поддерживающая негарантированную (неуказанную) битовую скорость передачи (*UBR - Unassigned Bit Rate*) - предоставляет услуги для передачи трафика класса D (некритичного к задержкам) без установления соединения и без гарантии качества обслуживания данных, т.е. поддерживает режим передачи низкоприоритетных данных с переменной скоростью без назначения гарантированной полосы пропускания. Выделяемые пользователю сетевые ресурсы могут изменяться в очень широких пределах на протяжении сеанса связи.

Аналоги некоторых указанных выше служб регламентированы также и ИТУ-Т в Рекомендациях I.371. Например, службе CBR ATM Forum соответствует служба DBR (*Deterministic Bit Rate*), а службе VBR, - служба SBR (*Statistical Bit Rate*), хотя последняя пока не поддерживает режим передачи в реальном времени. Служба АВТ (*ATM Block Transfer*) ИТУ-Т является не полным аналогом категории обслуживания АВР. Служба UBR в настоящее время ИТУ-Т не определена. В дальнейшем мы будем рассматривать только службы, определенные в терминах ATM Forum.

Каждая категория обслуживания поддерживает определенный набор параметров качества обслуживания и параметров трафика, которые задает конкретное приложение или администратор сети. В сети ATM при установлении виртуального соединения задаются следующие **количественные параметры трафика**: максимальная скорость передачи информации (*Peak cell rate* - PCR); средняя скорость передачи (*Sustainable cell rate* - SCR); минимальная скорость передачи (*Minimum cell rate* - MCR) и максимальный размер пульсаций нагрузки (*Maximum burst size* - MBS) – количество ячеек, которое может передать приложение с максимальной скоростью (ячеек/с). Параметры трафика задаются через устройства доступа к сети. Кроме количественных параметров трафика каждое приложение может задавать три основных **параметра качества обслуживания QoS**, гарантируемые сетью, а именно, значение постоянной составляющей сетевой задержки ячеек (*Cell transfer delay* - CTD), флуктуацию переменной составляющей сетевой задержки (*Cell delay variation* - CDV) и долю потерянных ячеек (*Cell loss ratio* - CLR). Задание для информационных потоков той или иной категории обслуживания определяет, по существу, степень приоритетности трафика, а также тип протокола передачи и процедуру обработки в узлах коммутации, производя таким образом «окраску» класса трафика в сети ATM.

Таблица 2

Параметры	Категория обслуживания				
	CBR	VBRrt	VBRnrt	ABR	UBR
Параметры качества обслуживания					
CTD	+	+	+		
CDV	+	+			
CLR	+	+		+	
Параметры трафика					
PCR	+				
MCR				+	
SCR, MBS		+	+		

В табл. 2 показаны возможные варианты поддержки параметров качества обслуживания и параметров трафика различными службами АТМ. Анализ услуг, предъявляемых соответствующими службами в сети АТМ показывает, что передача изохронного трафика с поддержанием заданного качества обслуживания обеспечивается только службами СBR и VBRrt. Для передачи асинхронного трафика может быть использована любая из указанных выше категорий обслуживания в зависимости от требований конкретных приложений, порождающих трафик данных.

Необходимо отметить, что в любой цифровой сети с интеграцией служб не эффективно производить совмещение разнородного трафика путем строгого разделения и закрепления между ним физических ресурсов сети в режиме установленного соединения. В Ш-ЦСИС на технологии АТМ реализовано несколько стратегий такого закрепления. Так как асинхронный трафик (классы С и D) не критичен к ожиданию освобождения занятых сетевых ресурсов и конфликтам доступа к ним, то указанные ресурсы выделяются ему по мере необходимости в порядке очередности, т. е. с «нежестким» закреплением. Для передачи изохронного трафика класса В они также предоставляются с «нежестким» закреплением, но при соблюдении определенных условий, которые будут оговорены ниже. Передача же изохронного трафика класса А в сеансе связи производится в режиме коммутации каналов, т. е. с «жестким» закреплением физических ресурсов сети за виртуальным соединением.

2. АРХИТЕКТУРА Ш-ЦСИС

2.1. Предпосылки построения архитектуры Ш-ЦСИС

Построение моделей функционирования Ш-ЦСИС требует наличия специального языка для описания основных особенностей Ш-ЦСИС и их функций. Для выявления общих принципов построения Ш-ЦСИС на основе анализа и синтеза ее логической, программной и физической структур предлагается использовать язык и принципы формализованного описания объектов исследования, примененные в Базовой эталонной модели Международной организации стандартов (*International Standard Organization – ISO*), на основе которой строится модель взаимодействия открытых систем (*OSI - Open System Interconnected*) [23], получившая дальнейшее развитие в работах [8, 9] для моделей архитектур сетей с интеграцией служб. Отметим, что цифровые сети с интеграцией служб рассматриваются как более широкий класс сетей, который должен подчиняться модели OSI [8, 9]. При этом предполагается, что системы с интеграцией служб, объединяемые ЦСИС, удовлетворяют требованиям стандартов ISO, т. е. являются открытыми. В модели ISO, в соответствии со стандартом ISO 7498, область взаимодействия открытых систем разделена на семь расположенных друг над другом функциональных уровней: физический, уровень звена, сетевой, транспортный, сессий, представления и прикладной.

Под архитектурой Ш-ЦСИС будем понимать уровневую организацию необходимых сетевых функций, их программных реализаций и протоколов, которые должны выполняться сетью для предоставления интегральных услуг любому приложению при высокоскоростной передаче разнородного трафика.

Построение и исследование архитектуры Ш-ЦСИС позволяет:

- *иерархически разделить сетевые функции, на логически завершенные функциональные группы задач (логические уровни), для определения механизмов реализации основных характеристик сети;*
- *выявить особенности архитектуры Ш-ЦСИС, связанные с распределением и передачей двух типов трафика (изохронного и асинхронного). Ввести и описать, при необходимости, новые функции уровней архитектуры Ш-ЦСИС;*
- *детализировать протоколы и форматы протокольных блоков соответствующих уровней применительно к передаче и обработке разнородного трафика;*
- *обеспечить многообразие реализаций программных и аппаратных технологий в сети;*
- *обеспечить эффективное использование физических ресурсов*

сети;

- *обеспечить простоту модификации различных элементов Ш-ЦСИС, характеризующихся частой сменой оборудования и развитием сети во времени;*

- *объединить задачи по техническому обслуживанию сети и сбору статистики о функционировании ее элементов и др.*

Архитектура Ш-ЦСИС описывает построение и взаимосвязь ее логической, программной и физической структур.

Логическая структура Ш-ЦСИС рассматривает взаимосвязь и взаимодействие функциональных (логических) уровней между собой и позволяет проанализировать работу всей сети в целом и на каждом логическом уровне в отдельности, а также определить логические ресурсы сети. Логическая структура Ш-ЦСИС не только позволяет классифицировать способы построения сетей указанного класса, но также дает возможность найти их общие структурные (системные) черты и приступить к проектированию, исходя из общих методологических предпосылок. Логическая структура сети базируется на рассредоточении процессов передачи и обработки разнородной информации по функциональным уровням каждой из ее систем и имеет многослойный вид [24-26], т. е. каждая система сети рассматривается в виде взаимосвязанной совокупности упорядоченного набора расположенных друг над другом логических одноранговых подсистем, образованных в результате пересечения системы с некоторым N-уровнем [25]. Любая система создается для выполнения ею конкретных прикладных процессов.

- *Система в модели OSI - это автономное объединение одной или нескольких ЭВМ, соответствующего программного обеспечения, периферийных устройств и пользователей, способное обрабатывать и передавать информацию.*

Систему, удовлетворяющую требованиям стандартов ISO, имеют открытой. Отметим, что модель OSI описывает взаимодействие открытых систем и не описывает внутренние функции, выполняемые конкретной системой. Уровни образуют подсистемы одного ранга. Каждая подсистема состоит из одного или нескольких объектов (entity) - активных элементов внутри уровня, т.е. N-уровню соответствуют N-уровневые одноранговые объекты, реализующие определенные службы (функции) N-уровня.

Объект N-уровня предлагает набор служб объектам N+1-уровня через точки доступа к службам N-уровня, которые играют роль логических интерфейсов (правил взаимодействия между смежными уровнями) между N-объектами и N+1-объектами двух смежных уровней.

- *Точка доступа к службе (service access point - SAP) – это точка, через которую запрашивается и предоставляется служба*

уровня. Каждая точка доступа к службе имеет индивидуальный адрес, который однозначно идентифицирует конкретный объект $N+1$ -уровня, использующий службу N -уровня.

Службы уровня определяют основные операции ввода/вывода, передачи и распределения массивов информации и т.д. (например, управление потоком, маршрутизация, защита информации от ошибок и др.). Каждая служба специфицирует определенные услуги.

- **Услуга** - это функциональные возможности N -уровня, которые предоставляются в распоряжение объектам $N+1$ -уровня в N -точках доступа.

Одноранговые объекты взаимодействуют между собой с помощью одного или нескольких протоколов. Спецификация протоколов N -уровня определяет процедуры выполнения служб, форматы управляющих и информационных полей протокольных блоков уровня, а также правила обмена протокольными блоками между объектами N -уровня в разных открытых системах [25, 26].

Протокольным блоком данных уровня (*protocol data unit* - PDU) называются фрагменты информации, пересылаемые между одноранговыми объектами уровня двух систем. Каждый логический N -уровень формирует протокольный блок данных из сервисного блока данных (*service data unit* - SDU), переданного вниз с $N+1$ -уровня, добавляя к нему управляющую информацию конкретного протокола взаимодействия одноранговых объектов своего N -уровня (*protocol control information* - PCI). Часть информации, составляющей PCI, передается с $N+1$ -уровня на N -уровень в виде параметров запроса службы. N -объекты N -уровня взаимодействуют между собой через логические каналы. Например, логические каналы между объектами канального уровня модели OSI именуются каналами передачи данных, а между объектами транспортного уровня – виртуальными каналами. Протоколы N -уровня используют службы $N+1$ -уровня для предоставления определенного набора услуг расположенному выше $N+1$ -уровню и службы $N-1$ -уровня, - для получения необходимого набора услуг, с целью поддержания взаимодействия одноранговых объектов своего уровня. Логическая структура сети должна удовлетворять принципам системной декомпозиции, в частности, обеспечивать относительную независимость уровней друг от друга, что позволяет модифицировать функции любого уровня при условии соблюдения протоколов взаимодействия и межуровневых интерфейсов. Достижение логической независимости уровней – труднодоступная задача, так как параметры для какого-либо уровня передаются из других уровней, однако при проектировании сети можно достичь значительной степени изоляции каждого из слоев ее архитектуры.

При создании однородных Ш-ЦСИС, например, на базе волокон-

но-оптических линий связи, методика логического проектирования значительно упрощается за счет упразднения отдельных функциональных уровней архитектуры сети [27].

В любой модели архитектуры открытых систем, одним из основных понятий является понятие подмножества функций уровня [28, 29]. Подмножество функций – это заранее подготовленные совокупности возможностей, которые присущи каждому уровню сетевой архитектуры. Варианты подмножеств, которые могут быть выбраны с помощью запросов при организации виртуальных соединений, поддерживаются конкретным логическим портом, т.е. данный тип порта поддерживает только те соединения, в которые входят разрешенные для них подмножества функций. Кроме того, эти подмножества функций в различных сетевых архитектурах могут отличаться по своему составу и полноте. Известно [29], что при проектировании любой сети функции ее логических уровней могут быть детализированы в дополнительных горизонтальных и/или вертикальных подуровнях. При вертикальном выделении подуровней функции внутри уровня можно сгруппировать таким образом, что каждая функциональная группа будет предоставлять подмножество сервиса, обеспечиваемого уровнем, а пользователь может использовать одновременно только одно из этих подмножеств.

Программная структура Ш-ЦСИС базируется на декомпозиционной иерархии ее программного обеспечения и описывает взаимодействие связанных между собой отдельных программ, отображающих работу и взаимосвязь логических уровней.

Физическая структура Ш-ЦСИС базируется на конкретных технических устройствах и позволяет оптимально реализовать в них отдельные логические функции или их совокупность.

В заключение отметим, что введение служебной информации в протокольные блоки каждого функционального уровня архитектуры любой Ш-ЦСИС снижает коэффициент использования физических ресурсов сети. Исходя из этого, при декомпозиционном описании Ш-ЦСИС желательно использовать по возможности меньшее число логических уровней, хотя функции каждого из них и должны быть максимально локальными, чтобы обеспечить простую замену их логической, программной и технической реализации.

2.2. Особенность архитектур Ш ЦСИС и их транспортных систем

Наличие по крайней мере двух типов трафика в любой сети с интеграцией служб, требующих различных подходов к их распределению и передаче, приводит к тому, что логическая структура сетей указанного класса должна включать в себя дополнительный функцио-

нальный *уровень совмещения* [8, 9], в задачу которого входит создание возможности передачи разнотипных информационных потоков единым образом в общей физической среде с требуемым качеством. В общем случае основными функциями уровня совмещения являются [8, 9]: создание «окрашенных» типом информации протокольных блоков уровня, «окраска» которых используется для выбора соответствующих протоколов обработки на более высоких уровнях архитектуры сети, мультиплексирование и организация синхронизации приемника и передатчика, сегментирование или блокирование протокольных блоков вышестоящего уровня, управление *логическими* ресурсами, доступными уровню и др. В общем случае протокольный блок этого уровня должен содержать метки начала и конца блока, управляющее поле, служащее для идентификации протокольного блока и его обработки, информационное поле. На уровне совмещения может также присутствовать функция защиты от ошибок полей служебной информации. Метки и некоторые поля управляющей информации могут физически отсутствовать в самом протокольном блоке, но логически они всегда существуют.

Известно [8, 9], что часть архитектуры цифровой сети с интеграцией служб, которая используется в качестве транспортного механизма для переноса всех типов информации между ее оконечными системами, образует архитектуру транспортной системы (ТС) сети. Основной задачей любой ТС сетей с интеграцией служб является качественный и своевременный перенос (доставка) всех типов информации между определенными приложениями и управление этим переносом. Особенностью указанных ТС является тот факт, что они должны обеспечивать транспортный сервис по крайней мере речевому трафику и трафику данных. Основным отличием в обслуживании указанных типов нагрузки является необходимость обеспечения изохронности (в пределах определенного допуска) передачи между отдельными порциями информации на входе и выходе ТС для речевого трафика и отсутствия этого требования для трафика данных. Обеспечить изохронность передачи в ТС можно двумя способами [8, 9, 33]. Либо необходимо обеспечить строго фиксированное постоянное время доставки каждой порции информации через транспортный канал, либо необходимо так ограничить трафик на входе ТС, чтобы интервалы времени, соответствующие фиксированному значению квантиля распределения времени задержки порций информации в системе (фиксированное значение квантиля гарантирует требуемое качество передачи изохронного трафика) не превышали заданной величины.

При первом способе должны быть полностью исключены случайные задержки информации в ТС. Это возможно лишь в том случае,

если ее физические ресурсы предоставляются каждой порции информации без ограничений и конфликтов доступа. Необходимо отметить, что физические ресурсы являются компонентами общесистемных ресурсов, в качестве которых выступают логические каналы соответствующих уровней архитектуры Ш-ЦСИС: N - ресурсы и N - каналы в соответствии с терминологией OSI [23]. Отметим, что «жесткое» закрепление общесистемных ресурсов более высоких уровней ТС Ш-ЦСИС не влечет за собой «жесткое» закрепление общесистемных ресурсов более низких уровней. Например, несколько транспортных каналов уровня АТМ могут использовать один виртуальный канал уровня АТМ, или несколько виртуальных каналов АТМ могут использовать один и тот же логический канал подуровня конвергенции физического уровня АТМ. Система покласовых приоритетов при использовании общесистемных ресурсов для реализации конкретного транспортного соединения не приводит к «жесткому» закреплению физических ресурсов ТС, т. е. даже для информации высшего приоритета перед общесистемным ресурсом может возникнуть очередь из порций информации данного приоритета, принадлежащих разным соединениям.

Отсюда следует, что неограниченное бесконфликтное использование физических ресурсов в Ш-ЦСИС возможно только при «жестком» их закреплении (а следовательно, и «жестким» закреплением одновременно всех общесистемных ресурсов ТС) за транспортным соединением между двумя сеансовыми объектами. Вполне естественно, что в соответствующей ТС должен существовать механизм такого сквозного «жесткого» закреплении физических ресурсов за данным соединением. При втором способе допускаются случайные задержки информации в ТС, которые не превосходят некоторой фиксированной величины, т.е. осуществляется ограниченный доступ к ее физическим ресурсам. Принципиальная проблема, которая возникает в любых системах с потерями, т.е. в системах с разделением ресурсов при помощи буферирования – это большая величина и большой разброс сквозной сетевой задержки, существенно зависящие от интенсивности входного сетевого трафика.

Существует три стратегии закреплении физических ресурсов сети в режиме установленного соединения и соответственно три типа транспортных систем [8, 9]: ТС с «жестким» закреплении физических ресурсов за соединением, ТС с «нежестким» закреплении физических ресурсов за соединением, и комбинированная (гибридная) ТС, в которой возможна смешанная стратегия распределения физических ресурсов (т. е. в гибридной ТС каждый общесистемный ресурс может работать одновременно в обоих режимах). Необходимо отметить, что функция совмещения разнородного трафика в цифровых сетях инте-

графального обслуживания во многом зависит от используемых в ней механизмов закрепления сетевых ресурсов за соединением и имеют различную уровневую реализацию.

2.3. Эталонная модель архитектуры протокола Ш-ЦСИС

Как известно, эталонная модель архитектуры OSI описывает уровневую организацию множества функций взаимодействия распределенных вычислительных систем в глобальной сети. Приведем краткое описание основных функций нижних четырех уровней, образующих ее транспортную систему. Физический уровень в модели OSI отвечает за передачу сигналов (электрических или оптических) в виде непрерывного битового потока по физическому каналу связи и за его выделение на приеме. Кроме того, на физическом уровне осуществляется кодирование/декодирование данных и поддержание синхронизации приемника и передатчика. Спецификация физического уровня включает в себя описание типов кабелей, соединителей (разъемов) и характеристики пересылаемых сигналов. Канальный уровень указанной модели сетевой архитектуры обеспечивает безошибочную передачу протокольных блоков уровня (кадров) в канале связи. Кроме того, этот уровень определяет процедуру формирования кадров и управления потоком данных, а также операции по синхронизации передачи на физическом уровне, сохранению последовательности кадров и восстановлению ошибочных данных между смежными узлами сети. Основная функция сетевого уровня модели OSI – маршрутизация пакетов данных между конечными узлами сети. Транспортный уровень образует службу сквозной пересылки данных и обеспечивает сквозной (end-to-end) контроль целостности передачи с целью восстановления потерянных данных, а также проверку последовательности сообщений на приеме. Заметим, что в региональной сети физический и канальный уровни модели OSI в совокупности реализуют функции канала передачи данных типа «точка-точка», который может быть выделенным (постоянным) или составным (коммутируемым).

Модель архитектуры локальных сетей описывает уровневую организацию функций в моноканалах с коллективным (множественным) доступом. В архитектуре локальных сетей IEEE [25, 30] функции физического уровня соответствуют физическому уровню модели OSI, т.е. определяют процедуры для создания физических соединений с носителем, а также процедуры передачи и приема сигналов по нему. В архитектуре IEEE канальный уровень разделен на два подуровня: подуровень управления логической связью (*Logical Link Control – LLC*) и подуровень контроля доступа к носителю (*Medium Access Control – MAC*). Подуровень контроля доступа к носителю MAC формирует

протокольные блоки –кадры – для различных технологий доступа к моноканалу (например, определенные стандартами IEEE 802.3 – 802.6 [25, 30]), а также отвечает за передачу и прием (селекцию) кадров между сетевыми устройствами (станциями). Реализация подуровня MAC зависит от способа доступа к моноканалу, применяемого в локальной сети и типа моноканала. Подуровень управления логической связью LLC позволяет различным технологиям локальных сетей предоставлять пользователю единый интерфейс канального уровня, т.е. предоставляет возможность пользователю канального уровня локальной сети обращаться к службам канального уровня, не беспокоясь о физической реализации моноканала или какой способ доступа к нему применяется. В технологии локальных сетей канал передачи данных представляет собой соединение типа «точка-многоточка» и реализуется функциями подуровня MAC и физического уровня.

Эталонная модель архитектуры протокола Ш-ЦСИС (*B-ISDN Protocol Reference model*) включает в себя четыре логических уровня [22, 24, 26, 31, 32]:

- **физический**, который подразделяется на подуровень конвергенции передачи (*Transmission Convergence - TC*) и подуровень, зависящий от физической среды (*Physical Medium – PM*);
 - уровень *ATM*;
 - уровень **адаптации ATM**, включающий в себя подуровень конвергенции или слияния (*Convergence Sublayer - CS*), который в свою очередь может делиться на две части: общую (*Common Part Convergence Sublayer - CPCS*) и служебно-ориентированную (*Service-Specific Convergence Sublayer – SSCS*) и подуровень сегментации и сборки (*Segmentation and Reassembly - SAR*);
 - **верхний** уровень панелей пользователя, сигнализации и административного управления.

Три нижних уровня эталонной модели архитектуры Ш-ЦСИС образуют архитектуру ее транспортной системы или архитектуру собственно сети ATM.

Технология ATM может быть реализована как в локальных, так и в глобальных сетях связи. В сети ATM канал передачи данных между конечными точками ATM реализуется непосредственно функциями подуровня конвергенции передачи TC (аналог подуровня MAC модели IEEE) и подуровня физической среды PM физического уровня ATM. Функции подуровня физической среды аналогичны соответствующим функциям физического уровня модели OSI. Канал передачи данных в сети ATM представляет собой соединение типа «точка-точка» или «точка - многоточка» и может быть либо постоянным (выделенным), либо коммутируемым, либо не коммутируемым. Под конечной точкой или оконечной системой (*End System - ES*) ATM пони-

мается устройство, которое подключается непосредственно к коммутатору АТМ и служит получателем или источником пользовательских данных [26].

2.4. Логическая структура Ш-ЦСИС

2.4.1. Уровень пользователя, сигнализации и административного управления

Четвертый (верхний) уровень логической структуры Ш-ЦСИС представлен службами сетевого менеджмента, сигнализации и службой пользователя. На этом уровне в архитектуре Ш-ЦСИС, кроме функций сигнализации и менеджмента, могут быть реализованы функции компрессии/декомпрессии информации с учетом типа трафика, передача сигналов набора телефонного номера, формирование заявок *на установление соединения* с указанием определенной категории обслуживания и необходимого качества сервиса QoS для различных приложений и др..

2.4.2. Уровень адаптации АТМ

Уровень адаптации в модели сети АТМ определяет и реализует одну из самых сложных функций – адаптацию функций уровня к требованиям передачи информационных потоков от различных приложений Ш-ЦСИС. Рекомендацией 1.363 ITU-T определено четыре типа адаптационных уровней (*ATM Adaptation Layer* - AAL1, AAL2, AAL3/4, AAL5) с учетом разнообразия протоколов, организации режима связи и требований к качеству обслуживания разнородного трафика. При этом учитывались следующие критерии:

- *необходимость сохранения с заданной точностью временного расположения ячеек потока при передаче (изохронность потока) и обеспечения заданного времени доставки;*
- *скорость передачи информации (постоянная или переменная);*
- *требования к организации режима связи: с установлением или без установления соединения.*

Каждый тип AAL используется для адаптации к передаче трафика определенного класса: AAL1 - для адаптации к передаче трафика класса А, AAL2 - трафика класса В, а AAL3/4 и AAL5 - трафика классов С и D.

На уровне адаптации АТМ реализуется одна из важнейших функций, характерных для цифровых сетей интегрального обслуживания - *функция совмещения разнородного трафика* [34, 35]. Отметим, что рассмотрение способа реализации процедуры совмещения является основой при проектировании любой сети указанного класса.

Каждому типу AAL на подуровне конвергенции TS соответствует определенная категория обслуживания нагрузки или служба («активный объект» - в терминах модели OSI), поддерживаемая соответствующим протоколом, т. е. каждый подуровень конвергенции TS уровня адаптации ATM ориентирован на конкретные приложения пользователя. При установлении транспортного канала (виртуального соединения) пользователь обслуживается через конкретный логический порт. Совокупность транспортных каналов образует логическую систему - транспортную сеть ATM, или сеть доставки информации [25, 36-38]. Особенностью подуровня конвергенции TS в архитектуре сети ATM является то, что здесь осуществляется «окраска» протокольных блоков подуровня типом передаваемой информации, что приводит к различным протоколам их передачи, защиты от ошибок и управления потоком. «Окраска» трафика осуществляется здесь выбором определенной категории обслуживания нагрузки или службы при установлении виртуального соединения. Для этой цели также могут использоваться адреса и/или номера портов отправителя/получателя, а также номера сеансов. Выбор определенной категории обслуживания (службы) на подуровне конвергенции TS в свою очередь предопределяет выбор соответствующего протокола обработки информации на этом подуровне, а также протокола обработки информации на подуровне сегментации и сборки SAR на передающем и приемном концах транспортного канала.

В логической структуре сети ATM функция формирования протокольных блоков на подуровне SAR является одной из главных отличительных функций сети, которая *реализует* интегральное обслуживание разнородного трафика с заданным QoS. Указанная функция, обеспечивает *создание* «окрашенных» типом трафика протокольных блоков подуровня путем формирования соответствующих полей служебной информации при сегментации протокольных блоков подуровня конвергенции на передаче и выборе протокола обработки в соответствии с «окраской» типа трафика при сборке сообщения на приеме. Таким образом, подуровень SAR в сети ATM *реализует* функциональную нагрузку подуровня совмещения.

Подуровень конвергенции AAL1

Для адаптации к передаче трафика класса А на подуровне конвергенции AAL1 используется служба CBR, которая обеспечивает постоянную максимальную скорость передачи информации и повышенные требования к изохронности потока в сеансе связи. Служба CBR в сети ATM для виртуального соединения реализует режим коммутации каналов, т. е. эмулирует синхронный канал передачи.

Подуровень конвергенции AAL1 реализует следующие основные функции:

1. «окраску» типа трафика заданной категорией обслуживания;
2. установление, поддержание и разъединение транспортного канала между портами коммутаторов АТМ с предоставлением указанной категории обслуживания и требуемым QoS;
3. обеспечение изохронности передачи информации;
4. передачу структурированных и неструктурированных потоков информации;
5. управление последовательностью (сохранение целостности последовательности) передачи протокольных блоков подуровня;
6. обработку потерянных, неверно ретранслированных или испорченных ячеек, а так же обработку ошибок и др.

Подуровень конвергенции AAL2

На AAL2 для передачи трафика класса В используется служба VBRrt, которая ориентирована на установление соединения и поддерживает переменную скорость обмена информации. Функции AAL2, реализуемые службой VBRrt, практически аналогичны функциям службы CBR на AAL1, а именно,

1. «окраска» типа трафика заданной категорией обслуживания;
2. установление, поддержание и разъединение транспортного канала между портами коммутаторов АТМ с предоставлением указанной категории обслуживания и требуемым QoS;
3. восстановление синхронизации и компенсация джиттера на приеме,
4. обработка ошибок, а также обработка потерянных, неверно ретранслированных или испорченных ячеек и др.

Однако, реализации соответствующих функций на AAL2 отличны из-за необходимости адаптации к передаче блоков информации переменной длины. Кроме того, физические ресурсы сети в сеансе связи для поддержания виртуального соединения в режиме VBRrt на AAL2 закрепляются не «жестко», а выделяются в режиме соревнования. При этом также обеспечивается заданная сквозная задержка и изохронность передачи.

Подуровень конвергенции AAL3/4

На AAL3/4 для адаптации к передаче трафика классов С и D предоставляются категории обслуживания VBRnrt, ABR и UBR. При поддержания виртуального канала на AAL3/4 службы ABR и VBRnrt,

которые ориентированы на соединение, реализуют следующие основные функции:

- 1. «окраска» типа трафика заданной категорией обслуживания;*
- 2. установление, поддержание и разъединение транспортного канала между портами коммутаторов АТМ с предоставлением указанной категории обслуживания и требуемым QoS;*
- 3. формирование и выделение протокольного блока данных;*
- 4. обнаружение и исправление ошибок;*
- 5. управление потоком и обеспечение повторной передачи потерянных или ошибочных данных переменной длины (для службы ABR) и др.*

Служба UBR, не ориентирована на соединение, а поддерживает на подуровне конвергенции AAL3/4 дейтаграммный режим передачи и не гарантирует доставку сообщений.

Подуровень конвергенции AAL5

Подуровень конвергенции AAL5 может рассматриваться как упрощенный вариант реализации аналогичного подуровня AAL3/4.

Подуровень сегментации и сборки

Основными функциями подуровня SAR являются:

- 1. Сегментация и сборка протокольных блоков подуровня;*
- 2. Реализация функции совмещения разнородного трафика путем «окраски» типом информации при формировании служебных полей протокольных блоков подуровня;*
- 3. поддержание синхронизации передатчика и приемника (для AAL1 и AAL2);*
- 4. контроль сохранения целостности последовательности поступления ячеек;*
- 5. мониторинг последовательности поступления ячеек с целью выявления и восстановления потерянных и искаженных ячеек;*
- 6. мониторинг и обработка одиночных ошибок в заголовках протокольных блоков подуровня или их индикация для подуровня конвергенции и др.*

На подуровне SAR на всех типах AAL осуществляется «нарезка» протокольных подуровня конвергенции сегменты (48 байт) с последующим размещением их в информационное поле ячеек уровня АТМ на передаче и восстановление этих блоков на приеме; формирование протокольного блока подуровня,

В совокупности приведенные выше функции уровня адаптации АТМ образуют набор услуг, в т.ч. и по совмещению разнородного трафика, которые предоставляются уровню панелей пользователя, сигнализации и административного управления эталонной модели архитектуры Ш-ЦСИС и обеспечивают установление, поддержание и разъединение логического соединения между двумя объектами этого уровня.

2.4.3. Уровень АТМ

Уровень АТМ обеспечивает набор услуг для подуровня сегментации и сборки ААЛ через соответствующий набор своих протоколов. Стандарты для уровня АТМ определяют, каким образом нужно устанавливать виртуальные соединения (каналы и/или пути) с заданным качеством обслуживания QoS и поддерживать эти соединения в сеансе связи. Виртуальный канал АТМ – это соединение между двумя оконечными системами сети АТМ, которое устанавливается на время их взаимодействия, в то время как виртуальный путь – это соединение между двумя коммутаторами АТМ, которое существует постоянно (независимо от того, установлен ли виртуальный канал). Другими словами, виртуальный путь - это «запомненный» путь, по которому проходит весь трафик от одного коммутатора к другому. Когда пользователь запрашивает виртуальный канал, коммутаторы определяют, какой виртуальный путь использовать для достижения конечных систем. В одном виртуальном пути может быть организовано несколько виртуальных каналов. Основные функции, которые обеспечивает уровень АТМ:

1. *формирование и удаление заголовков ячеек АТМ;*
2. *маршрутизация ячеек АТМ;*
3. *ретрансляция ячеек АТМ;*
4. *мультиплексирование и демупльтиплексирование ячеек АТМ в/из тракта передачи;*
5. *управление потоком разнородного трафика;*
6. *управление коммуникационными ресурсами сети и др.*

В совокупности, приведенные выше функции уровня АТМ образуют набор услуг, которые предоставляются подуровню сегментации и сборки ААЛ и обеспечивают установление, поддержание и разъединение логического соединения между двумя объектами указанного подуровня.

2.4.4. Физический уровень АТМ

Форум АТМ не вводит свои спецификации на реализацию физического уровня. Поток ячеек, сгенерированный на уровне АТМ, может быть передан практически по любой существующей или будущей цифровой системе передачи. Методы передачи сигналов зависят от требуемой скорости передачи и типа используемой физической среды, т.е. в качестве физического уровня сетью АТМ может быть использована любая цифровая система передачи, а технология АТМ, являясь основой реализации предлагаемых услуг, призвана оптимизировать ее применение. Как в модели АТМ, так и в модели OSI стандарты физического уровня устанавливают, каким образом биты должны проходить через среду передачи и как получать биты из среды передачи, преобразовывать их в ячейки и посылать эти ячейки уровню АТМ. Стандарты АТМ для физического уровня также описывают, какие кабельные системы должны использоваться в сетях АТМ и с какими скоростями может работать АТМ при каждом типе кабеля.

Подуровень конвергенции передачи

Функции подуровня ТС во многом аналогичны функциям канального уровня модели OSI или подуровня MAC модели IEEE локальных сетей. Подуровень ТС на передающей стороне преобразует поток ячеек от уровня АТМ в структурированный поток кадров, т.е. адаптирует указанный поток к интерфейсным протоколам физического уровня и направляет его на подуровень РМ. На приеме подуровень ТС выделяет кадры ячеек из потока данных подуровня РМ, деформирует их и направляет поток ячеек на уровень АТМ. Кроме того, подуровень конвергенции передачи управляет адаптацией скорости передачи данных и осуществляет защиту полей заголовка ячейки. Таким образом, к основным функциям подуровня ТС можно отнести:

- 1. структурирование кадра (контейнера) или потока ячеек;*
- 2. формирование поля контроля ошибок в заголовке ячейки АТМ и контроль ошибок на приеме;*
- 3. согласование скорости ячеек.*

Подуровень, зависящий от физической среды

Подуровень РМ физического уровня АТМ управляет передачей данных по каналам связи и, как было отмечено выше, по своей функциональной нагрузке практически не отличается от физического уровня сетевой модели OSI или модели IEEE/ISO/ANSI локальных се-

тей. Подуровень РМ на стороне источника передачи сети АТМ принимает поток структурированных данных от подуровня конвергенции и преобразует его в электрический или оптический сигнал с последующей передачей в физическую среду. На приемной стороне подуровень РМ производит прием и обратное преобразование физического сигнала в битовый поток, отправляемый на подуровень ТС. Основные функции, которые реализует подуровень РМ:

- 1. передача битового потока в конкретной физической среде;*
- 2. синхронизация источника и приемника сигналов;*
- 3. линейное кодирование и преобразование сигналов.*

В совокупности, приведенные выше функции физического уровня АТМ образуют набор услуг, которые предоставляются уровню АТМ при установлении, поддержании и разъединении логического соединения между двумя одноранговыми объектами уровня.

Приведенный анализ показывает, что логическая структура сети АТМ содержит основные элементы всех пяти логических уровней ТС цифровой сети интегрального обслуживания, описанных в терминологии ее архитектуры [8, 9, 33], которые отличаются от базовой модели OSI [23, 25] только определенной функциональной полнотой и местом их реализации. Так например, в логической структуре сети АТМ функции физического уровня и уровня звена реализованы на физическом уровне АТМ. Уровень АТМ обеспечивает функции сетевого уровня и частично – транспортного. Уровень адаптации АТМ помимо основных функций транспортного уровня поддерживает функции уровня совмещения разнородного трафика. В корпоративной сети, где сеть АТМ является подсетью, она представляется как двухточечное соединение оконечных устройств АТМ на канальном уровне модели OSI. Отметим, что часть логической структуры АТМ (уровень ААL и уровень АТМ), ассоциированная с канальным уровнем модели OSI, имеет сложную горизонтальную и вертикальную подуровневую организацию, а функции указанных уровней значительно отличаются от функций канального уровня модели OSI. Так, на уровне АТМ введена функция маршрутизации, которая в модели OSI реализована на сетевом уровне, а уровень адаптации АТМ реализует функции совмещения разнородного трафика и основные функции транспортного уровня модели OSI, анализ которых будет проведен ниже. Необходимо отметить также, что функция установления виртуального соединения (канала передачи) в подсети АТМ не подменяет функцию маршрутизации сетевого уровня модели OSI. Функции маршрутизации в маршрутизаторах корпоративной сети поддерживаются независимо от аналогичных функций в подсети АТМ, реализуемые в коммутаторах АТМ.

2.5. Особенности реализации транспортных соединений в сети АТМ

Проанализируем особенности стратегии закрепления и поддержания сетевых ресурсов за виртуальными соединениями в сети АТМ.

Служба СВР обеспечивает постоянную скорость передачи ячеек (при асинхронном статистическом мультиплексировании их в ЛЦГ) путем поддержания «жесткого» закрепления сетевых ресурсов за установленным виртуальным СВР-соединением в сеансе связи, т. е. служба СВР в сети АТМ практически эмулирует подсеть коммутации каналов. При этом, хотя перед общесистемными логическими ресурсами сети теоретически могут образовываться также и очереди из СВР-ячеек, однако, за счет выделения и закрепления избыточных сетевых ресурсов за асинхронным виртуальным СВР-каналом и поддержания требуемой синхронизации передатчика и приемника, службой СВР практически обеспечивается транспарентный режим передачи без угрозы потери ячеек в канале связи.

Службы VBR, ABR и UBR реализуют асинхронный режим передачи разнородного трафика с «нежестким» закреплением сетевых ресурсов за соединениями, т. е. обслуживание виртуальных соединений, организуемых указанными службами, в сеансе связи производится на коллективной основе с формированием очередей и поддержанием режима соревнования за выделение физических ресурсов сети с учетом приоритета поступающей нагрузки. Служба VBRrt на AAL2, как и служба СВР на AAL1, гарантирует заданную изохронность речевого потока, хотя и допускает случайные задержки ячеек, не превосходящие некоторой фиксированной величины. Реализации соответствующих функций, обеспечивающих изохронность передачи, на AAL2 несколько отличны от их реализации на AAL1 из-за необходимости адаптации к передаче блоков информации переменной длины. Отметим важную отличительную особенность службы VBRrt от службы СВР, которая принципиальна для исследования сети АТМ. Как отмечено выше, служба СВР для поддержания транспарентного режима передачи использует упрощенную стратегию организации виртуального соединения, при которой за соединением резервируется максимальная полоса пропускания. Кроме того, пограничный коммутатор АТМ для поддержания постоянной скорости передачи, например, речевого трафика, в режиме установленного соединения при возникновении пауз генерирует пустые таймслоты, которые инкапсулируются службой СВР в ячейки АТМ, чем обеспечивается сохранение постоянных временных позиций в ЛЦГ за СВР-каналом при асинхронном статистическом мультиплексировании трафика и поддерживается постоянная скорость передачи на протяжении всего сеанса связи. В ре-

жиме установленного соединения часть пропускной способности ЛЦТ, которая резервируется за CBR-каналом, не подлежит перераспределению, т. е. полоса пропускания остается постоянной независимо от степени ее реального использования. В режиме VBRrt для поддержания виртуального соединения физические ресурсы сети выделяются в режиме соревнования с образованием очередей. Необходимая суммарная пропускная способность выделяется для VBRrt-канала лишь на период существования активного соединения, а в остальное время полоса освобождается для других служб. При этом обеспечивается заданная сквозная задержка и изохронность передачи. Заметим, что по сравнению со службой CBR, служба VBRrt требует более сложной процедуры заказа и поддержания виртуального соединения между сетью и приложением.

Таким образом, анализ стратегии закрепления сетевых ресурсов за виртуальными соединениями в сети АТМ показывает, что в указанной транспортной системе при использовании службы CBR (наряду со службами VBR, ABR и UBR) реализуется стратегия с «гибридным» закреплением сетевых ресурсов за соединениями. В то же время, при упразднении службы CBR в сети АТМ последняя переходит в категорию чисто пакетных ТС с «нежестким» закреплением сетевых ресурсов за виртуальными соединениями в сеансе связи.

2.6. Программная структура Ш-ЦСИС

В соответствии с логической структурой Ш-ЦСИС строится и ее программная структура, состоящая из элементов, расположенных на четырех функциональных уровнях. Как было отмечено выше, каждый протокольный блок PDU вышестоящего уровня архитектуры, включая служебную информацию PCI, формирует информационное поле протокольного блока нижележащего уровня SDU. Управляющая информация, размещаемая в служебных полях протокольных блоков соответствующих уровней программной структуры сети АТМ, воспринимается только теми ее элементами, которые реализуют протоколы этих уровней и является транспарентной (прозрачной) для элементов программной структуры более низких уровней.

2.6.1. Программная структура уровня пользователя, сигнализации и административного управления

Основными элементами в программной структуре Ш-ЦСИС являются программы верхнего уровня, реализующие функции служб плоскостей административного управления, сигнализации и пользователя.

Технология АТМ основывается на установлении соединений. Приложения в сети АТМ взаимодействуют либо через постоянные виртуальные соединения (*Permanent Virtual Circuits - PVC*), которые устанавливаются администрацией сети, либо через коммутируемые виртуальные соединения (*Switched Virtual Circuits - SVC*), инициируемые протоколами взаимодействующих оконечных АТМ-систем. Каждая оконечная АТМ-система поддерживается в АТМ-коммутаторе определенным сетевым интерфейсом пользователя (*User -Network Interface – UNI*). Для PVC сетевые ресурсы резервируются заранее. При установлении SVC оконечная система АТМ формирует UNI-запрос и направляет его в коммутатор через плоскость сигнализации, которая предоставляет свои услуги оконечной системе между абонентским доступом и пограничным коммутатором по протоколу Q.2931 [39] при поддержке протокола для конкретной службы (*SSCO - Service Specific Connection Oriented Protocol*) уровня адаптации сигнализации АТМ (*SAAL - Signalling ATM Adaptation Layer*). АТМ Forum определил механизмы UNI-запросов на установление SVC как часть спецификации интерфейса «пользователь-сеть». Эти спецификации регламентируют не только сигнальные протоколы, но также и схемы АТМ-адресации, в соответствии с которыми оконечные АТМ-системы могут быть идентифицированы, а также способы запроса сетевых ресурсов. Определение того, какой стек протоколов сигнализации следует использовать является задачей протокола управления и конфигурирования через UNI - (*Interim Local Management Interface - ILMI*). Кроме того, ILMI играет важную роль в автоконфигурировании многих АТМ -параметров, в частности, 20-байтных АТМ-адресов.

Алгоритм установления коммутируемого соединения типа «точка-точка» в сети АТМ на интерфейсе «пользователь-сеть», кратко изложен в [40]. В вызывном сообщении, которое на **плоскости сигнализации** обрабатывается **программой управления сигнализацией**, содержится обязательная и дополнительная информация. Первая включает в себя следующий минимальный набор характеристик [40]:

- *основные данные о виртуальном канале;*
- *пиковая скорость ячеек данных в прямом и обратном направлениях;*
- *требуемое качество обслуживания QoS.*

Дополнительная информация определяет характеристики потока данных «пользователь-пользователь»:

- *требуемый AAL и максимальный размер протокольного блока PDU уровня адаптации АТМ;*
- *адрес и подадрес вызываемого абонента;*
- *адрес и подадрес вызывающего абонента;*

характеристики протокола(ов), используемого(ых) для передачи данных из конца в конец.

Набор служебных сообщений, используемых на интерфейсе «пользователь-сеть», приведен в Рекомендациях ITU-T Q.2931. Все служебные сообщения, используемые на интерфейсе «пользователь-сеть» для установления, контроля и разъединения виртуальных соединений имеют общий формат и структуру (рис. 2).

Поля «Дискриминатор протокола», «Длина поля ссылки на вызов», «Флаг», «Значение ссылки на вызов» и «Тип сообщения» имеются во всех служебных сообщениях и имеют одинаковый формат.

биты										октеты	
8	7	6	5	4	3	2	1				
Дискриминатор протокола										1	
				Значение поля ссылки на вызов						2	
флаг		Значение ссылки на вызов								.	
Тип сообщения										.	
Длина сообщения										.	
Информационные элементы (ИЭ) сообщения										.	

Рис. 2. Структура служебного сообщения

Поле «Информационные элементы сообщения», в зависимости от типа сообщения, может состоять из одного или нескольких ИЭ. Поле «Дискриминатор протокола» указывает на принадлежность сообщения к протоколу Ш-ЦСИО и имеет длину 1 октет. В поле «Длина поля ссылки на вызов» указывается число октет, занимаемое полем «Значение ссылки на вызов», которое назначает вызывающая сторона на интерфейсе «пользователь-сеть». Значение ссылки на вызов назначает вызывающая сторона, и оно должно быть одинаковым для всех сообщений данного виртуального соединения. Поле «Флаг» всегда имеет значение «0» для стороны, которая назначила значение ссылки на вызов. Все сообщения данного соединения, посылаемые противоположной стороной интерфейса в ответ, должны иметь флаг со значением равным «1». Поле «Тип сообщения», в котором размещается информация о типе сообщения, имеет фиксированную длину, равную двум октетам. Поле «Длина сообщения» имеет фиксированную длину равную 2 октетам и в служебном сообщении указывает число октетов, которые занимает поле «ИЭ сообщения».

Выделение физических ресурсов сети производится на основе требований, которые пользователь должен указать в соответствующем ИЭ. Например, с помощью ИЭ «Параметры уровня AAL», имеющих

несколько типов, указываются сведения о виде информации, скорости передачи информации от источника, параметрах обмена с оконечной установкой (размере максимального информационного блока, синхронизации), сведения об особенностях протокола (наличии процедур защиты от ошибок, плотности заполнения ячеек). Сведения о типе трафика (переменная или постоянная скорость передачи информации), о чувствительности трафика к потерям ячеек передаются в ИЭ «Требуемые службы широкополосного канала». Конкретные величины интенсивности информационного трафика, трафика системы эксплуатации и технического обслуживания (ЭТО) передаются соответственно в ИЭ «Идентификатор нагрузки пользователя» и в ИЭ «Идентификатор сквозной задержки (между пользователями) нагрузки от системы ЭТО». Подключенные к Ш-ЦСИО пользователи, у которых на абонентском участке реализуются протоколы обмена, отличающиеся от принятых в Ш-ЦСИО (например, абонент с протоколом Х.25), сообщают об этом в сеть с помощью ИЭ «Сведения о нижних уровнях» и ИЭ «Сведения о верхних уровнях». В ИЭ «Требуемая сквозная транзитная задержка» указывается конкретное значение задержки ячеек, которое должно быть обеспечено сетью. Если требования, изложенные в информационных элементах, не могут быть удовлетворены Ш-ЦСИО, то пользователь получает отказ с указанием соответствующей причины в ИЭ «Причина». Отметим, что сигнальная информация в Ш-ЦСИО передается через выделенную подсеть сигнализации, например основанную на ОКС7, и в первую очередь производится установление соединения, которому соответствует более высокая категория обслуживания. При организации соединений с одинаковыми категориями обслуживания высший приоритет имеет соединение, требующее большую полосу пропускания цифрового тракта передачи. Когда приложение устанавливает соединение категории СBR, оно заказывает пиковую скорость ячеек PCR, т.е. максимальную скорость передачи трафика которую может поддерживать соединение без риска потерять ячейку, а также параметры QoS. При заказе VBRrt в дополнение к пиковой скорости PCR приложение заказывает еще и значение средней скорости передачи – SCR, разрешенную приложению, а также максимальный размер пульсации (количество ячеек, следующих одна за одной) MBS или объем данных, который приложение может сгенерировать со скоростью PCR в случайный период времени, называемый периодом допустимой пульсации (*Burst Tolerance – BT*). Услуги категории VBRnrt ограничиваются поддержанием параметров трафика. В отличие от СBR и обеих служб VBR, служба UBR не поддерживает ни параметры трафика, ни параметры качества обслуживания, т.е. осуществляет доставку без каких-либо гарантий. Определенная гарантия доставки появляется в модернизированной версии UBR+

за счет введения механизмов управления потоком [41]. Служба ABR является первой службой, в которой был введен механизм управления трафиком и которая, используя его статистическую природу, обеспечивает гарантию передачи пульсирующих данных. Служба ABR позволяет воспользоваться резервами пропускной способности сети, путем оповещения источника о наличии ее избытка на данный момент с помощью механизмов обратной связи. При установлении ABR-соединения оговаривается значение скорости PCR, которой приложение может воспользоваться при наличии свободной пропускной способности в цифровом тракте и минимальной MCR (гарантированной сетью) скоростей передачи трафика. Заметим, что гарантия $MCR > 0$ будет требовать выделения некоторых ресурсов сети, и это будет учитываться сетью при установлении соединения. Соглашение о пределах изменения задержки передачи ячеек и о параметрах пульсации не заключается. В этом случае приложение соглашается не превышать пиковой скорости, а сеть – обеспечивать минимальную скорость передачи, т.е. приложению гарантируется минимально необходимая для его работы скорость. Таким образом, трафик ABR-соединения получает гарантированное качество услуг в отношении доли потерянных ячеек (CLR) и минимальной пропускной способности.

В режиме установленного соединения **прикладные процессы** взаимодействуют между собой посредством передачи по сети массивов информации через плоскость пользователя. На плоскости пользователя **программы управления информационными процессами** добавляют к информационным массивам заголовки процессов, куда записываются идентификатор (имя) и адрес процесса, в результате чего формируется **информационный блок, или протокольный блок верхнего уровня**. Длина информационного блока может состоять из нескольких байт при интерактивном режиме работы или миллионов байт при передаче файлов и видео.

2.6.2. Программная структура уровня адаптации ATM

Протокольные блоки PDU подуровней конвергенции (**сообщения данных либо речевые фрагменты**) и сегментации и сборки (**48-байтные сегменты**) AAL формируют соответственно **программы управления передачей и программы управления сегментацией и сборкой**. Причем содержание и количество служебных полей PCI в них зависит от конкретного типа адаптационного уровня.

Элементы программной структуры AAL, как и транспортные протоколы большинства пакетных сетевых технологий, функционируют только в конечных точках сети ATM.

Программа управления передачей подуровня конвергенции AAL1

Программа управления передачей на подуровне конвергенции AAL1, поддерживающая службу CBR, обеспечивает следующие основные функции:

- 1. «окраску» типа трафика заданной категорией обслуживания;*
- 2. поддержание изохронности передачи информации;*
- 3. передачу структурированных и неструктурированных потоков информации;*
- 4. обработку ошибок в протокольных блоках уровня приложений реального времени и др.*

Поддержание изохронности передачи. Одна из главных функций службы CBR – ***поддержание*** изохронности передачи информации в сеансе связи, чем гарантируется строго фиксированное постоянное время доставки каждой порции информации по виртуальному каналу. Как известно [9], это возможно лишь в том случае, если сетевые ресурсы в режиме установленного соединения предоставляются для передачи каждой порции информации без ограничений и конфликтов доступа к ним. Однако, неограниченное бесконфликтное использование физических ресурсов сети возможно только при «жестком» их закреплении (а следовательно, и «жестким» закреплением одновременно всех общесистемных ресурсов) за транспортным соединением между двумя сеансовыми объектами, что гарантирует только синхронный режим передачи разнородного трафика. В сети ATM, базирующейся на асинхронном режиме доставки сообщений, ***изохронный*** режим передачи ***поддерживается на AAL1*** несколькими способами, которые рассмотрены ниже.

Во – первых. Одним из элементов реализации транспарентного CBR-канала является ***резервирование за ним избыточных сетевых ресурсов в сеансе связи:*** при установлении виртуального соединения категории CBR, пользователь заказывает пиковую скорость передачи ячеек PCR, которую ***может поддерживать служба без риска потерять ячейку.***

Во - вторых, служба CBR в режиме установленного соединения ***обеспечивает постоянное временное расположение позиций CBR-ячеек в полосе пропускания ЛЦТ,*** вводя фактически сеть ATM в основанную на ячейках сеть с коммутацией каналов. Поддержание синхронного временного мультиплексирования ячеек в сети ATM службой CBR обеспечивается технологией эмуляции каналов (*Circuit Emulation Service – CES*) [22, 42, 43], принятой ATM Forum в 1995 г. В настоящее время поддержка CES осуществляется путем предоставле-

ния оконечной системе выделенного PVC-канала (например, T1 или E1) посредством так называемой взаимодействующей функции (*Interworking Function - IWF*), являющейся обычно частью ATM - коммутатора или сервисного мультиплексора, где происходит преобразование входящего сигнала в протокольные блоки AAL1. Базовые понятия CES в общих чертах приведены, например, в Рекомендациях I.363 ITU-I. ATM Forum стандартизовал два типа технологии CES. Первый тип технологии CES, называемый **неструктурированной службой (*Unstructured service*)**, больше известен как **технология эмуляции канала**. Так как указанная технология не различает канальной структуры, то незадействованная в некоторые моменты времени пропускная способность любого канала, которая в сеансе связи остается постоянной, не может быть предоставлена другим службам AAL (при отсутствии входного сигнала формируемый протокольный блок AAL1 заполняется нулями), т. е. в этом режиме физические ресурсы сети (в т. ч. полоса пропускания ЛЦТ), закрепляются за установленным соединением «жестко», а сеть ATM практически эмулирует работу сети с синхронным временным мультиплексированием каналов (*Time Division Multiplexing - TDM*). Отсюда другое название – TDM over ATM. Технология эмуляции канала не позволяет также выделять в сети ATM определенную полосу пропускания T1 или E1 PVC - канала из одного направления в PVC - канал другого направления. Для организации требуемого соединения необходимо использовать другой интерфейс T1 или E1. Второй тип технологии CES, определяется как **структурированная служба** или **служба Nx64 (*Structured or Nx64 service*)**, способная выделять N –байтовые фреймы, например, в полосе E1. Структурированный режим передачи Structured E1 предназначен для передачи дробных (fractional) потоков E1 (Nx64 Кбит/с). Преимущество службы Nx64 состоит в том, что она способна маршрутизировать различные таймслоты и/или группу таймслотов в разные точки сети, т. е. один физический интерфейс E1 коммутатора ATM является окончанием для CBR-каналов различных направлений. Служба Nx64 в свою очередь подразделяется на базовую службу Nx64 без использования сигнализации и службу Nx64 с использованием сигнализации. В последнем случае в сети могут быть использованы два типа сигнализации: канальная сигнализация (*Channel Associated Signalling - CAS*) и общеканальная сигнализация (*Common Channel Signalling - CCS*). При структурированном режиме передачи базовой технологии Nx64 (без использования CAS) в область данных протокольного блока подуровня конвергенции AAL1 последовательно от каждого из таймслотов отображается N - байтовая структура потока. Для определения начала следующего блока используется специальный дополнительный байт-указатель, который занимает первый байт

информационного поля подуровня сегментации и сборки. Наличие байт -указателя в структуре протокольного блока подуровня PDU сегментации и сборки индицируется в его заголовке битом индикации подуровня конвергенции (*Convergence Sublayer Indication – CSI*) в четных ячейках, который вставляется подуровнем конвергенции.

В 1997 г. ATM Forum предложил модернизированную версию DVCES (*Dynamic Bandwidth CES*) с динамическим распределением полосы пропускания (с шагом 64 Кбит/с) в зависимости от интенсивности телефонной нагрузки на интерфейсе «пользователь-сеть». Краткое описание технологии DVCES приведено в [42, 43].

В – третьих, поддержание изохронности передачи трафика класса А в CBR-канале достигается также за счет поддержания **необходимой точности синхронизации таймеров источника и получателя** на подуровне конвергенции AAL1. В соответствии со спецификацией G.703 точность синхронизации в потоке E1 должна быть не хуже 50 ppm (*part per million*) – величины погрешности, равной одной условной единице на миллион таких единиц. Для городских и зональных сетей общего пользования иерархия точности отсчета времени STRATUM 3 предписывает еще большую точность хода часов - 4,6 ppm. В то же время спецификация UNI 3.1 для интерфейсов частной сети ATM требует, чтобы точность хода часов коммутаторов ATM была не хуже 100 ppm, т.е. при передаче изохронного трафика через сеть ATM необходимо применять дополнительные механизмы поддержания синхронизации таймеров. Поддержание необходимой точности синхронизации таймеров источника и получателя в сети ATM на подуровне конвергенции AAL1 может быть реализовано двумя методами: методом синхронной остаточной временной метки (*Synchronous Residual Time Stamp - SRTS*) или методом адаптивной синхронизации таймеров (*Adaptive Clock - AC*) [22, 26, 42, 43]. **Метод синхронной остаточной временной метки SRTS** основан на том, что технология ATM не позволяет управлять синхронизацией источника от сети и поэтому синхронизацию источника должен восстанавливать приемник. Метод SRTS предполагает наличие в сети эталонного таймера (эталона синхронизации), который доступен каждому таймеру конечной точки ATM. Эталонный таймер генерируется системой передачи. Тактовые импульсы эталонного таймера генерируются с большим интервалом по сравнению с интервалами между тактовыми импульсами, генерируемыми таймерами в конечных точках. При передаче битового потока источник периодически подсчитывает число тактов собственного таймера, которое помещается в одном такте эталонного таймера. Это число (четырёхбитовая метка RTS) в качестве временной метки регулярно передается получателю в каждой нечетной ячейке восьмичетной группы в заголовке протокольного блока

подуровня сегментации и сборки (битом CSI). Получатель с аналогичным периодом вычисляет значение своей временной метки. Сравнивая вычисленное значение с полученным значением временной метки от источника, приемник либо увеличивает скорость приема битового потока из сети, либо уменьшает, поддерживая таким образом синхронизацию двух конечных точек. Метод SRTS применяется для синхронизации передачи сигналов приложений реального времени высокого качества. В случае, когда в сети АТМ применяется система передачи не синхронной иерархии, т.е. сеть недостаточно синхронна (например, точность хода ее часов соответствует UNI 3.1), для синхронизации передачи речевых или видеосигналов может использоваться более простой в реализации метод - *метод адаптивной синхронизации таймеров АС*. Метод АС позволяет восстановить синхронизацию источника исходя из ритма, с которым идет наполнение информацией входного буфера приемника и, в отличие от метода SRTS не требует наличия эталонного таймера в сети. В этом случае скорость считывания информации из буфера постоянно подстраивается таким образом, чтобы поддерживать примерно постоянный уровень его заполнения входящим потоком бит. Для установки значения начальной задержки выборки ячеек используется средняя скорость заполнения входного буфера приемника. В случае, когда скорость считывания и скорость поступления потока бит равны, уровень заполнения буфера будет постоянным. Если скорость наполнения буфера падает, то скорость выборки замедляется, а если скорость наполнения растет, то скорость выборки увеличивается. Необходимо отметить, что при использовании метода адаптивной синхронизации таймеров увеличивается транзитная задержка в сети АТМ, причем задержка будет тем больше, чем большую степень асинхронности мы пытаемся компенсировать.

В – четвертых. Точность синхронизации в сети в значительной мере влияет на величину *суммарного сетевого* допуска (Tolerance) параметра *переменной сетевой задержки* CDV - (CDVT). Максимальная скорость поступления ячеек PCR, гарантируемая службой CBR, связана обратной зависимостью с минимальным межячеечным интервалом передачи, который даже для CBR-трафика может изменяться из-за очередей и задержек распространения [22, 31]. Следовательно, оконечное устройство должно быть готово к приему потока данных с переменными интервалами поступления ячеек (CDVT), значения которых не должны превышать заданной величины. Величина CDVT также налагает конкретные требования и на размер интервалов поступления и размер пачек MBS [22]. Для поддержания заданной величины изохронности передачи трафика служба CBR на AAL1 задействует в оконечных устройствах алгоритм виртуального планирования скорости поступления ячеек (*Virtual Scheduling Algorithm - VSA*), ко-

торый является разновидностью общего алгоритма регулирования скорости ячеек (*Generic Cell Rate Algorithm* – GCRA, определенного в Рекомендации I.371 ITU-T. Алгоритм VSA обеспечивает требуемое соотношение между параметрами PCR и CDVT и позволяет **компенсировать джиттер переменной составляющей сетевой задержки на приеме**. Суть его функционирования заключается в следующем [22]. Ячейки, поступающие в коммутатор с PCR, имеют ассоциированный мжячейный интервал «Т». Эта величина определяет так называемое теоретическое время поступления (*Theoretical Arrival Time* – TAT) для все ячеек виртуального соединения. В случае, если ячейка прибыла раньше TAT, она будет считаться комфортной при условии, что время ее поступления превосходит значение TAT – CDVT. В этом случае следующее значение TAT устанавливается равным текущему TAT + Т. Если ячейка поступает после теоретического времени TAT, то она признается комфортной, а значение TAT также устанавливается равным величине реального времени поступления ячейки + Т, при условии что указанное время не превышает значение TAT + CDVT. В остальных случаях ячейка отбрасывается. Таким образом, значение CDVT определяется допустимой долей некомфортных ячеек в пачечном трафике, которые будут сброшены при передаче по сети, а также величиной переменной составляющей сетевой задержки (джиттера). При условии CDVT=0 более раннее или позднее поступление ячеек (относительно заданного времени) нельзя скомпенсировать. В [22] приведена формула для быстрого вычисления числа N соседних (*back-to-back*) ячеек в пачке, которые могут быть переданы: $N=1+\text{допуск}/T - \tau$, где τ - время передачи одной ячейки. Выбор оптимальной длины пакетной посылки (пачки) напрямую связан с обеспечением требуемых временных характеристик передачи ячеек в сети ATM.

Обработка ошибок. На основании информации (поступающей от подуровня сегментации и сборки) о количестве ошибок и потерянных или пришедших не по адресу ячеек, а также о нарушении изохронности и о недогрузке или перегрузке приемного буфера, подуровень конвергенции AAL1 обеспечивает поддержание временной и семантической прозрачности в сети и формирует сообщения о состоянии ее сквозных характеристик. Оценка параметров на приеме производится по результатам транспортирования ячеек [24, 44]. Подуровень конвергенции AAL1 может нести ответственность за обработку одиночных или многократных ошибок, а также за потери или случайные вставки ячеек, обнаруживаемых на подуровне сегментации и сборки. В зависимости от типа службы пользователя ошибки могут быть обработаны либо непосредственно на подуровне конвергенции, либо протоколами более высоких уровней.

Программа управления сегментацией и сборкой AAL1

Программа управления сегментацией и сборкой AAL1 разнородного трафика, реализует функции одноименного логического подуровня сегментации и сборки и обеспечивает:

1. сегментирование и сборку протокольных блоков подуровня;
2. формирование полей управляющей информации протокольных блоков подуровня;
3. обеспечение синхронизации передатчика и приемника;
4. контроль сохранения целостности последовательности поступления ячеек;
5. выявление и восстановление потерянных и искаженных ячеек;
6. контроль и/или исправление ошибок в служебных полях протокольных блоков и др.

Формирование полей управляющей информации. Программа управления сегментацией и сборкой AAL1 на передаче в соответствии с протоколом обработки формирует соответствующую структуру 48-байтного PDU подуровня. На приеме указанная программа осуществляет восстановление исходного потока, а также производит контроль заданного качества обслуживания, предоставляемого сетью, по результатам анализа значений определенных полей заголовка сегмента. Структура и формат протокольного блока подуровня сегментации и сборки службы CBR на AAL1 показан на рис. 3.

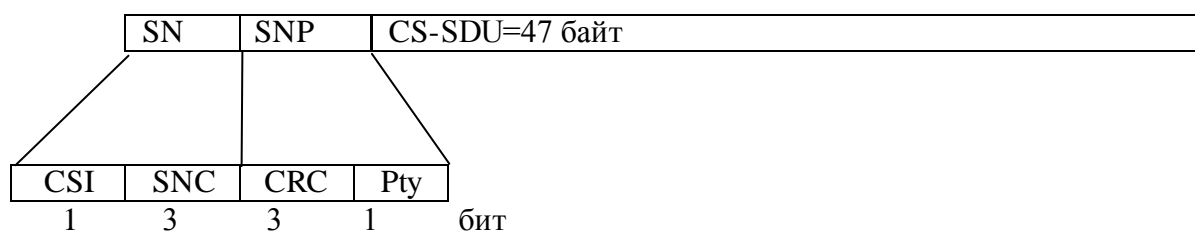


Рис.3. Структура и формат управляющих полей заголовка протокольного блока подуровня сегментации и сборки службы CBR на AAL1

Управляющая информация в протокольном блоке подуровня сегментации и сборки AAL1 занимает один байт. Заголовок включает в себя поле порядкового номера сегмента (*Sequence Number* – SN) и поле защиты порядкового номера (*Sequence Number Protection* – SNP). В свою очередь поле SNP включает в себя трехбитовый код для исправления ошибок (*Cyclic Redundancy Code* – CRC) и бит четности для обнаружения двойных ошибок Pty. Поле SN также делится на два: бит индикации подуровня конвергенции (*Convergence Sublayer Indication* – CSI), который может содержать метку остаточного времени (*Residual Time Stamp* – RTS) для установки синхронизации приемника или для выделения блоков данных, и три бита счетчика последовательной ну-

мерации ячеек (по модулю 8) SNC, используемые для выявления потерянных или неправильно вставленных ячеек.

Обеспечение синхронизации передатчика и приемника. Для обеспечения синхронизации передатчика и приемника методом синхронной остаточной временной метки SRTS четырехбитовая метка RTS, задаваемая эталонной частотой синхронизации, передается на подуровень конвергенции AAL1 в заголовке протокольного блока подуровня сегментации и сборки битом CSI поля порядкового номера SN в каждой нечетной ячейке восьмизначечной группы.

Контроль сохранения целостности последовательности поступления ячеек. Для выявления потерянных или неправильно вставленных ячеек используется поле счетчика последовательной нумерации ячеек (по модулю 8) SNC. Результаты подсчета номера последовательности программа управлением сегментацией и сборкой в режиме установленного соединения передает на подуровень конвергенции. Для приложений реального времени не предусмотрена организация повторной передачи ячейки при обнаружении ее потери. В этом случае применяется *маскирование ошибок* на приеме с помощью механизма интерполяции информации, при котором подуровень SAR приемника при обнаружении потери ячейки подставляет вместо нее фиктивную ячейку с указанием ошибки. Дополнительно может применяться *перемежение (чередование)* данных на передаче для более точного восстановления информации на приеме при потере ячеек. Принцип перемежения данных описан в [31]. При необходимости более точного восстановления информации совместно с механизмом перемежения используется дополнительно *механизм распределенного исправления ошибок* [31]. Для некоторых приложений реального времени вместе с перемежением данных применяется *метод прямого исправления ошибок* [24, 32].

Для определения начала следующего блока в N-байтовой структуре при структурированном режиме передачи базовой технологии используется бит CSI поля порядкового номера SN в четных ячейках, который вставляется подуровнем конвергенции.

Значения счетчика последовательной нумерации ячеек SNC и кода для исправления ошибок CRC вычисляются по заполнению информационного поля PDU подуровня сегментации и сборки.

Защита от ошибок. Поле SNP обеспечивает обнаружение и коррекцию ошибок в заголовке, причем поля индикации подуровня конвергенции CSI и счетчика последовательной нумерации ячеек SNC защищаются кодом CRC, а семь бит полей CSI, SNP и CRC – проверочным битом четности Pty. Приемник имеет два устойчивых состояния: режим коррекции, при котором исправляются одиночные ошибки, и режим детектирования, при котором происходит только обнару-

жение ошибок. Если в заголовке PDU подуровня сегментации и сборки обнаружена ошибка при проверке контрольных бит и бита четности, то приемник после ее исправления из режима «коррекция» переходит в режим «детектирование». В режиме «детектирование» обнаружение ошибки в заголовке идентифицируется с некорректным значением поля номера последовательности. В случае, если заголовок не содержит ошибок, то приемник переходит в режим «коррекция». Если не удастся скорректировать выявленные ошибки, то на подуровень конвергенции передается индикация ошибок. Более подробно алгоритмы работы приемника в режимах «коррекция» и «детектирование» описаны в работе [24, 32].

Таким образом, программа сегментации и сборки в режиме установленного соединения на подуровень конвергенции передает результаты подсчета номера последовательности, значение индикатора подуровня конвергенции CSI поля порядкового номера SN и результаты проверки заголовка PDU подуровня сегментации и сборки.

Программа управления передачей подуровня конвергенции AAL2

Программа управления передачей трафика класса В на подуровне конвергенции AAL2 поддерживает службу VBRrt. Технология пакетной передачи речи определяется протоколом подуровня общей части CPS (*Common Part Sublayer*) в Рекомендациях I.363.2 ITU-T. Указанные Рекомендации могут использоваться также для транспортировки в реальном времени других типов изохронного трафика с переменной скоростью, например, видео. Кроме того, они устанавливают различные способы сжатия информации. Возможность подавления речевых пауз, применения различных механизмов сжатия речевого трафика, а также динамическое использование полосы пропускания ЛЦТ для его передачи, - основные достоинства службы VBRrt.

Рекомендация ITU-T I.366.2 определяет сервисный уровень для передачи голоса службами AAL2 (*AAL2 Service Specific Convergence Sublayer for Trunking*), способ транспортировки по виртуальному каналу служебной сигнальной информации, в т.ч. сигналов набора номера, а также форматы кодирования речевого трафика. При этом виртуальный канал AAL2 наделяется функциональностью обычной линии телефонной сети общего пользования. Транспортировка больших объемов данных по каналам AAL2 регламентирована ITU-T в Рекомендации I.366.1 (*AAL2 Service Specific Convergence Sublayer for Frame Data*). Передача голоса по сети ATM и использование стандарта I.366.2 для транспортировки таких сигналов по магистральным каналам регламентирована также в стандарте Forum ATM *af-vtoa-0089.000*, а стандарт Forum ATM *Loop Emulation Service* – описывает

сервис эмуляции кольца на AAL2, исходя из стандарта I.366.2. Эти документы завершают на настоящее время стандартизацию технологии передачи голоса в сети ATM (*Voice over ATM – VoATM*) [22].

Программа управления передачей VBRrt для приложений реального времени обеспечивает в основном аналогичные основные функции, поддерживаемые программой управления передачей CBR на AAL1, в частности, обеспечение заданного уровня изохронности передачи в сети, путем восстановления синхронизации и компенсации джиттера, а также обработку событий, связанных с потерями, искажениями или засылкой не по адресу ячеек. Указанные функции подуровня служба VBRrt реализует с помощью тех же механизмов, что и служба CBR.

Программа управления сегментацией и сборкой AAL2

Программа управления сегментацией и сборкой AAL2 разнородного трафика реализует функции одноименного логического подуровня сегментации и сборки, реализация которых, в основном, аналогична AAL1. В отличие от структуры PCI протокольного блока SAR AAL1, поля служебной информации в 48-байтном PDU подуровня сегментации и сборки службы VBRrt на AAL2 занимают три байта из-за необходимости адаптации к передаче фрагментов изохронного трафика класса В переменной длины.

Структура и формат протокольного блока подуровня сегментации и сборки службы VBRrt на AAL2 показаны на рис.4.

SN	IT	CS-SDU=45байт	LI	CRC	
4	4		6	10	бит

Рис.4. Структура и формат управляющих полей заголовка протокольного блока подуровня сегментации и сборки службы VBRrt на AAL2

Поле номера последовательности SN позволяют обнаруживать потерянные или полученные не по адресу ячейки, а также может служить для реализации некоторых дополнительных функций, в том числе выполнять некоторые виды коррекции ошибок, вставку или удаление ячеек. Поле типа информации (*Information Type – IT*) описывает тип ячейки: начало (*Beginning of Message – BOM*), продолжение (*Continuation of Message – COM*) или конец сообщения (*End of Message – EOM*), информацию синхронизации и др. Поле указателя длины (*Length Indicator – LI*) определяет объем пользовательских данных, т. е. указывает число информационных бит в частично заполненной ячейке. Десятибитный циклический избыточный код CRC предназна-

чен для обнаружения ошибок в полезной нагрузке ячеек и исправления одиночных ошибок.

Программы управления передачей подуровня конвергенции AAL3/4

Программы управления передачей трафика компьютерных данных классов С и D на подуровне конвергенции AAL3/4 поддерживают соответственно службы ABR и UBR. Служба ABR – является первой службой, в которой был введен механизм управления трафиком и которая, используя его статистическую природу, обеспечивает некоторую гарантию передачи пульсирующих данных с заданной достоверностью. Механизм управления трафиком позволяет воспользоваться резервами пропускной способности сети путем оповещения источника о наличии ее избытка на данный момент с помощью организации различных способов обратной связи. Трафик ABR-соединения получает гарантированное качество услуг в отношении доли потерянных ячеек (CLR) и минимальной пропускной способности ЛЦТ. Служба UBR не поддерживает ни параметры трафика, ни параметры качества обслуживания, т.е. осуществляет доставку без каких-либо гарантий, хотя в модернизированной версии UBR+ определенная гарантия доставки появляется за счет введения механизмов управления потоком [41].

Протоколы AAL3/4 поддерживают режим, ориентированный на соединение (поточковый режим) и режим без установления соединения (режим обмена сообщениями), в котором протокольные блоки подуровня конвергенции (дейтаграммы) маршрутизируются независимо друг от друга. Входящие дейтаграммы могут иметь фиксированную или переменную длину. В потоковом режиме сеть может либо гарантировать доставку данных, либо осуществлять их передачу без гарантии доставки. В первом случае с целью обеспечения заданной достоверности передачи данных на подуровне конвергенции AAL3/4 используются механизмы управления потоком и повторной передачи пропущенных или ошибочных пачек данных, а во втором – функции гарантированной доставки данных реализуются на более высоких уровнях архитектуры сети. Функции по обеспечению гарантированной или негарантированной доставки сообщений в потоковом режиме реализуются на подуровне SSCS.

CPI	Btag	BASize	CPCS-SDU	PAD	AL	Etag	Length	
1	1	2	1 - 65535	0 - 3	1	1	2	байт

Рис.5. Структура и формат протокольного блока подуровня конвергенции AAL3/4

Протокол подуровня конвергенции AAL3/4 определяет форматы и структуру полей заголовка и концевика протокольного блока подуровня CPCS-PDU. Структура и формат полей протокольного блока подуровня CPCS-PDU приведены на рис. 5. Протокольный блок общей части подуровня конвергенции AAL3/4 CPCS-PDU может иметь длину поля данных от 1 до 65535 байт и от 8 до 11 байт служебной информации. Причем в режиме сообщений каждая поступающая дейтаграмма (постоянной или переменной длинны) обрамляется своим заголовком и концевиком, в то время как в потоковом режиме поступающие пакеты данных блокируются в одно информационное поле данных CPCS-SDU постоянной длины с общим заголовком и концевиком. Индикатор общей части сообщения (1байт) (*Common Part Indicator* - CPI) указывает, как должны интерпретироваться последующие поля заголовка и концевика. Значения индикаторов начала и конца (1 байт) (*Beginning Tag* - Btag) и (*End Tag* - Etag) идентичны и увеличиваются на единицу для каждого последующего обрабатываемого CPCS-PDU. На приемной стороне эти значения сравниваются для выявления ошибок. Индикаторы Btag и Etag используются для предотвращения случайного сцепления двух CPCS-SDU, возникающего из-за потери ячеек, несущих конец первого блока данных и начала второго. Поле (*Buffer Allocation Size* – BAsize) (1 байт) указывает размер CPCS-SDU и требуемый объем памяти приемного буфера, который следует зарезервировать (при отсутствии информации приемник резервирует максимальный объем памяти – 64 кбайт, соответствующий максимально возможной длине CPCS-SDU). Заполнитель (*Padding* – PAD) (0-3 байт) добавляется для выравнивания CPCS-SDU до размера, кратного 32 байт. Это гарантирует начало концевика CPCS-PDU на 32-байтовой границе, что повышает эффективность обработки указанного протокольного блока. Поле выравнивания (*Alignment* – AL) (1байт) используется для формирования длины концевика CPCS-PDU, равной 4 байтам. Индикатор (*Length of CPCS-PDU payload* – Length) (2 байта) указывает точное двоичное значение CPCS-SDU, благодаря чему дополнение может быть исключено.

Программа управления сегментацией и сборкой AAL3/4

Программа управления сегментацией и сборкой AAL3/4 производит «нарезку» протокольных блоков CPCS-PDU (SAR-SDU) на 44-байтные блоки и формирует 48-байтный протокольный блок подуровня SAR-PDU на передаче и восстанавливает CPCS-PDU на приеме, в случае, когда блоки CPCS – PDU больше полезной нагрузки ячейки ATM-SDU. Если же блоки CPCS – PDU меньше длины поля полезной нагрузки ячейки ATM-SDU, то программа управления сегментацией и

сборкой AAL3/4 производит блокирование (объединение) указанных протокольных блоков на передаче и разделение их на приеме. Протокол подуровня SAR определяет структуру и форматы полей SAR-PDU и процедуру его обработки. Структура и формат протокольного блока подуровня сегментации и сборки AAL3/4 приведены на рис. 6.

ST	SN	P	MID	SAR-SDU	LI	CRC	
2	3	1	10		6	10	бит

Рис.8. Структура и формат протокольного блока подуровня сегментации и сборки AAL3/4

Подуровень SAR гарантирует также целостность полезной нагрузки ячейки и обеспечивает два уровня приоритета: обычный и высший. Индикатор типа сегмента (*Segment Type – ST*) (2 бита) указывает при сегментации и сборке на начало (10), продолжение (00) и конец (01) сообщения. Значение (11) поля ST обозначает односегментное сообщение. Порядковый номер (*Sequence Number – SN*) (3 бита) по модулю 16 используется для обнаружения потерянных или неверно вставленных ячеек. Однобитный указатель приоритета (*Priority – P*) отмечает высокоприоритетную передачу для SAR-PDU в потоке данных. Поле идентификатора мультиплексирования (*Multiplexing Identification – MID*) (10 бит) используется для идентификации ячеек, принадлежащих различным потокам данных, мультиплексированных в одном виртуальном соединении, т.е. когда несколько отправителей передают информацию одному и тому же адресату. В этом случае все SAR-PDU конкретного CPCS-PDU имеют одинаковые значения идентификатора мультиплексирования MID, отличающиеся от значений MID иных CPCS-PDU. Это гарантирует правильную их сборку на приеме. Поле указателя длины (*Length Indicator – LI*) (6 бит) концевики SAR-PDU используется для указания размера пользовательских данных в ячейке (от 1 до 44 байт). Значение поля LI, равное 63, означает прекращение передачи (Abort PDU). В этом случае содержимое информационного поля ячейки на приеме будет игнорироваться. Поле 10-битового циклического проверочного кода идентично коду, используемому в AAL2 для выявления и коррекции ошибок в поле сегмента CPCS. Для передачи сообщения прерывания используется специальное кодирование SAR-PDU: в поле типа сегмента устанавливается метка «конец сообщения», а полезная нагрузка равна нулю, как и в поле LI.

Таким образом, для обеспечения заданной достоверности передачи данных протокол AAL3/4 **в потоковом режиме** предусматривает применение механизмов управления потоком и повторной передачи пропущенных или ошибочных пачек данных, а также дополнительные

процедуры обнаружения и коррекции ошибок, а именно, помимо использования в PDU подуровня сегментации и сборки механизмов контроля CRC (для выявления и коррекции ошибок в поврежденных ячейках), значений поля последовательного номера SN (с целью выявления потерянных или неправильно вставленных ячеек), протокол AAL3/4 для корректной сборки CPCS – PDU дополнительно использует идентификатор мультиплексирования в заголовке SAR-PDU, а также поля признака начала (Btag) и конца (Etag) и поле длины (Length) в служебной части протокольного блока CPCS – PDU. Кроме того, помимо выявления ошибок протокол AAL3/4 также обеспечивает восстановление данных на подуровне конвергенции, для чего специфицированы три отдельных режима его работы, отличающихся механизмами, которые применяются для восстановления ошибочных данных [26]:

- *Негарантированные операции с отбрасыванием.* В этом режиме на AAL3/4 повторная передача не выполняется и пользователь не получает информацию с обнаруженными ошибками в CPCS – SDU.

- *Негарантированные операции с доставкой.* Повторная передача не выполняется, но поле данных CPCS–PDU с ошибками передается пользователю.

- *Гарантированные операции.* В данном режиме AAL3/4 организует повторную передачу полей данных CPCS –PDU, принятых с ошибками. Организация повторной передачи поврежденных CPCS – SDU означает передачу всех SAR-PDU, входящих в состав поврежденного протокольного блока.

Программа управления передачей подуровня конвергенции AAL5

Программа управления передачей подуровня конвергенции AAL5 представляет собой альтернативный вариант аналогичной программы AAL3/4 для поддержки службы ABR при передаче трафика компьютерных данных классов С. Протокол, определяющий правила взаимодействия элементов программы управления передачей подуровня конвергенции AAL5, в отличие от AAL3/4 менее сложен и применяется для передачи потоков данных различной пачечности (максимальный размер пачки ограничен 65535 байт) в режиме, ориентированном только на соединение. Протокол AAL5 не требует включения дополнительной управляющей информации на подуровне SAR и все 48 байт информационного наполнения SAR-SDU (который в данном случае совпадает с SAR-PDU) задействуются для поля данных ATM-PDU, что несомненно можно отнести к его преимуществам. В то же время, в отличие от протокола AAL3/4, протокол AAL5 не обеспечивает обна-

ружения ошибок в потоке последовательных ячеек и мультиплексирования нескольких потоков.

CPCS-PDU	PAD	UU	CPI	Length	CRC	
1 – 65535байт	0 - 47	2	1	2	4	байт

Рис. 7. Структура и формат протокового блока подуровня конвергенции AAL5

Программа управления передачей на подуровне конвергенции AAL5 добавляет к полю данных CPCS –PDU 8-байтный концевик и необходимое значение поля заполнителя PAD (0-47 байт), формируя таким образом протоковый блок подуровня. Структура и формат CPCS – PDU показан на рис. 7. Передаваемые пользователем данные в CPCS – PDU дополняются так, чтобы поле данных можно было разделить на целое число ячеек, т.е. чтобы длина полученного блока CPCS – PDU была кратна 48 байтам. Концевик CPCS – PDU содержит 8 байт служебной информации, которая реализует три функциональные нагрузки. Индикатор «пользователь - пользователь» общей части подуровня конвергенции (*CPSC User-to-User Indication* - CPSC UU) (1 байт) управляет информацией, передаваемой между источником и получателем на подуровне CPSC. Поле длины Length (2 байт) задает размер поля пользовательских данных и используется на приеме для определения полей данных и заполнителя. 32-битный код CRC используется для обнаружения ошибок в поле данных CPCS – PDU. Значение поля CPI (1 байт) в настоящее время не используется.

Программа управления сегментацией и сборкой AAL5

Программа управления сегментацией и сборкой подуровня SAR AAL5 производит «нарезку» блоков CPCS – PDU на 48-байтные сегменты и передает на уровень ATM без добавления служебной информации подуровня CPI. Для правильной сборки полей данных CPCS – PDU приемник должен уметь обнаруживать последний сегмент каждого блока CPCS – PDU. Протокол подуровня SAR AAL5 не может предоставить явные указатели начала и конца поля данных в SAR-PDU, так как все 48 байт полезной нагрузки заняты данными пользователя. Для обеспечения выявления последнего сегмента каждого блока CPCS – PDU подуровень SAR источника дает команду уровню ATM пометить последнюю ячейку каждого блока CPCS – PDU. Последняя ячейка помечается уровнем ATM установкой в значение 1 последнего бита поля информационного наполнения PTI (тип SDU = 1) в заголовке ячейки. В соответствии с этим первая ячейка с SAR-PDU блока CPCS – PDU задается в явном виде как следующая за последней

ячейкой предыдущего блока, которая определена в неявном виде.

Таким образом, *протокол AAL5 реализует в основном те же функции, что и протокол AAL3/4*. Поле длины указывает, что ни одна из ячеек не была потеряна, а контроль CRC гарантирует корректность их получения. Пользователь так же имеет возможность гарантированной и негарантированной доставки данных с поддержанием режима многоадресной рассылки без обеспечения мультиплексирования потоков (протокол AAL5 не определяет поле MID или его эквивалент).

В заключение еще раз отметим, что на приеме каждый элемент программной структуры ATM оперирует только со своим заголовком (концевиком) и не анализирует полученную информационную часть протокольного блока, чем обеспечивается протокольная «прозрачность» в сети. Исключение составляет программа управления сегментацией и сборкой AAL5, которая использует для своих целей служебное поле PTI заголовка ячейки ATM, а также программы управления передачей AAL1 и AAL2, которые используют поле CSI заголовка соответствующих SAR-PDU.

2.6.3. Программная структура уровня ATM

Уровень ATM предусматривает набор служб, которые могут запрашиваться подуровнем сегментации и сборки AAL и предоставляются посредством соответствующих протоколов уровня. Функции логического уровня ATM реализуются *программами управления сетью*, которые формируют *протокольный блок уровня (ячейку)*, а также устанавливают и поддерживают логический канал ATM, включая управление информационным потоком.

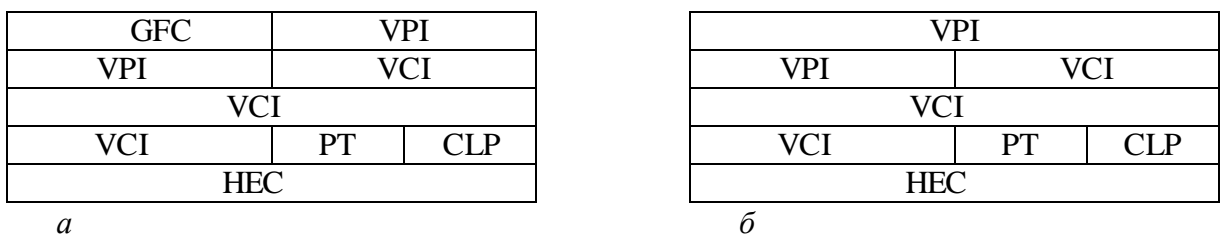


Рис.8. Структура и формат заголовков ячеек ATM:

а- структура и формат заголовка ячейки ATM на интерфейсе «пользователь-сеть»; б - структура и формат заголовка ячейки ATM на сетевом интерфейсе

В стандартах Forum ATM для сети ATM определены два основных физических интерфейса: интерфейс «пользователь-сеть» (*User - Network Interface - UNI*) – интерфейс между конечной точкой сети ATM (оконечной ATM -системой) и коммутатором ATM (сетевым ATM - узлом), а также интерфейс «сеть-сеть» (*Network - Network*

Interface - NNI) – интерфейс между двумя коммутаторами АТМ. Указанные интерфейсы специфицированы соответствующими форматами ячеек АТМ, передаваемых между сетевыми устройствами с помощью служб уровня АТМ. Каждая ячейка содержит 53 байт. Структура и формат заголовков ячеек АТМ приведены на рис. 8. Поле данных или информационное наполнение ячейки (*Payload*) содержит 48 байт данных пользователя и/или управляющей информации. Для наполнения поля данных используются протокольные блоки подуровня сегментации и сборки (*Segmentation and Reassembly protocol data unit - SAR-PDU*) различных типов ААL и/или специальная информация для административного управления, включая проверку на четность (*Bit Interleaved Parity – BIP*) и сбор результатов об ошибках в сообщениях данных на приемном конце (*Far End Block Error – FEBE*) для оценки коэффициента ошибок.

Для широкополосного абонентского доступа в интерфейсе «пользователь - сеть» UNI 5-байтный заголовок ячейки включает в себя поля общего управления потоком (*Generic Flow Control – GFC*) (4бита), идентификатора виртуального пути (*Virtual Path Identifier – VPI*) (8 бит), идентификатора виртуального канала (*Virtual Channel Identifier – VCI*) (16 бит), типа полезной нагрузки (*Payload Type – PT*) (4 бит), приоритета потери ячейки (*Cell Last Priority - CLP*) (1 бит), а также поле контроля ошибки в заголовке (*Header Error Control – HEC*) (8 бит). В отличие от заголовка ячейки в интерфейсе «пользователь - сеть», в структуре заголовка ячейки в интерфейсе между сетями NNI поле общего управления потоком не используется, за счет чего увеличено поле идентификатора виртуального пути до 12 бит. Каждый из указанных интерфейсов определяется в стандартах путем спецификации форматов ячеек, передаваемых между сетевыми устройствами по протоколам уровня АТМ. Поле общего управления потоком GFC предназначено для управления потоком на интерфейсе «пользователь - сеть» и предотвращения перегрузок. Индикатор виртуального пути VPI идентифицирует маршрут логического пути передачи группы виртуальных каналов между двумя кроссовыми коммутаторами АТМ. Индикатор виртуального канала VCI идентифицирует конкретный виртуальный канал в виртуальном пути между коммутаторами доступа конечных точек АТМ. Поле PT используется для описания типа полезной нагрузки (данные пользователя или служебное сообщение). В первом случае последние 2 бит поля PT выполняют функцию индикатора перегрузки и типа SAR-PDU AAL5, который в этом случае используется для указания последней ячейки в операции сегментации и может рассматриваться как расширение функций уровня адаптации АТМ. Поле приоритета потери ячейки CLP указывает коммутатору АТМ, какие ячейки необходимо отбрасывать в первую очередь при

возникновении перегрузки. Поле контроля ошибок заголовка НЕС служит для обнаружения и коррекции ошибок в заголовке ячейки. Обработка этого поля является прерогативой физического уровня АТМ.

Основными функциями уровня АТМ, которые реализует программа управления сетью являются:

1. функция коммутации, которая включает в себя функции маршрутизации и ретрансляции ячеек;

2. функция управления потоками разнородного трафика;

3. функции концентрации и мультиплексирования нагрузки.

Коммутация. Сеть АТМ ориентирована на соединение и поддерживает соединения виртуальных каналов (*Virtual Channel Connection* - VCC) и соединения виртуальных путей (*Virtual Path Connection* - VPC). Любое устройство, подключенное к сети АТМ (рабочая станция, сервер, маршрутизатор или мост), имеет прямой монопольный доступ к коммутатору. При установлении любого постоянного (*Permanent Virtual Circuits* - PVC) или коммутируемого (*Switched Virtual Circuits* - SVC) виртуального соединения пользователь заключает с сетью АТМ так называемый «трафик-контракт», в котором оговаривается определенный набор количественных параметров и требуемое качество обслуживания трафика, а также правила проверки соответствия реальных параметров трафика заявленным. Для PVC сетевые ресурсы резервируются заранее. Для постоянной актуализации сведений о топологии сети, а также установления и разъединения SVC, в сети АТМ могут использоваться различные протоколы маршрутизации и сигнализации. В настоящее время существует несколько подходов к реализации протоколов маршрутизации в сетях АТМ [24, 45-49]: многопротокольный протокол АТМ Forum с вычислением маршрута на отдельном сервере (*Multiprotocol over ATM* - MPOA); комбинированный протокол компании Ipsilon Networks, который обеспечивает маршрутизацию больших массивов информации служб без установления соединения по постоянным виртуальным соединениям, а маршрутизация трафика служб с установлением соединения осуществляется децентрализованно на каждом узле сети; семейство протоколов АТМ Forum частного интерфейса «сеть-сеть» (*Private Network-to Network Interface* – PNNI) [45] разработки или его модифицированной версии PNNI Phase 1 [22, 45, 46], которую АТМ Forum принял в апреле 1996г.; единый сетевой протокол альянса NIA (*Network Interoperability Alliance*) на основе интегрированного частного сетевого интерфейса Integrate PNNI, разработанного АТМ Forum для работы в IP-сети. Семейство протоколов PNNI включает в себя протокол маршрутизации запросов и протокол сигнализации. Основной задачей протокола маршрутизации запроса является поддержание

в коммутаторах актуальной информации о топологии сети, которая используется для определения оптимального маршрута. В основе протокола маршрутизации лежит алгоритм состояния канала, обеспечивающий передачу информации о сетевой топологии между коммутаторами. Протокол сигнализации базируется на алгоритме маршрутизации от источника и управляет установлением и разъединением SVC. В отличие от ранее используемого протокола IIS (Interim Inter-Switch Signalling Protocol, известного как протокол 1994 г. ATM Forum - PNNI Phase 0), который позволял использовать комбинацию конфигурируемых вручную статистических маршрутов и UNI-сигнализации между коммутаторами для направления сигнальных запросов через ATM-сеть, протоколы PNNI поддерживают расширенные старые и абсолютно новые возможности, а именно,

- QoS-ориентированную маршрутизацию и масштабируемость;
- динамическую настройку параметров, необходимых для взаимодействия со смежными коммутаторами сети (фиксирование достижимых ATM-адресов; назначение QoS-метрик, например, полосы пропускания или гарантированных пределов задержек ячеек и др.).

Масштабируемость подразумевает возможность агрегирования адресации и QoS-метрик (лидер группы ATM-коммутаторов предоставляет QoS-информацию о всей группе посредством одного множества метрик, т. е. вся группа представляется как одна модельная вершина, именуемая вершиной логической группы). Протоколы PNNI Phase 1 базируются на спецификациях UNI v.3.1 и UNI v.4.0. Версия пользовательского интерфейса UNI 4.0 значительно расширяет функциональные возможности UNI 3.0/3.1, в том числе: позволяет «вершине» виртуального соединения «точка-многоточка» возможность добавлять саму себя к существующему соединению (версия UNI 3.0/3.1 предоставляла осуществлять такие операции только вершине-источнику, т. е. «корню»), передавать сигнальные параметры QoS (версия пользовательского интерфейса UNI v.3.1 дает возможность приложению указать требуемое качество обслуживания во время запроса определенной категории сервиса, а версия UNI v.4.0 дополнительно предоставляет возможность указывать конкретные значения параметров качества услуг в рамках каждой категории сервиса), а также поддерживать ABR-сигнализацию. Необходимо отметить, что протоколы таких межсетевых взаимодействий, как эмуляция локальных сетей (*LAN Emulation - LANE*), IP поверх ATM (*IP over ATM - IPoATM*) или мультипротокол поверх ATM (*Multi-Protocol over ATM - MPOA*) [24, 45-49], - во многом зависят от сигнальных служб ATM и протоколов его маршрутизации.

При получении UNI-запроса на установление SVC, сеть ATM с помощью алгоритма маршрутизации на основании комбинации пара-

метров трафика и QoS, которые определяют дескриптор требуемого соединения, выбирает маршрут его прохождения до коммутатора адресата. Алгоритм маршрутизации от источника предполагает вычисление оптимального маршрута через всю сеть до выходного коммутатора, которому доступен адрес получателя, непосредственно в источнике, т. е. в во входном коммутаторе. В процессе динамической маршрутизации заявки до вычисления требуемого маршрута во входном коммутаторе производится учет параметров трафика с помощью алгоритма общего контроля за установлением соединения (*Generic Connection Admission Control* – GCAC). Цель учета – предварительная проверка параметров трафика всех доступных соединений маршрута. Алгоритм GCAC имеет две формы реализации: простую и комплексную. Простой алгоритм GCAC учитывает только доступную пропускную способность (*Available Cell Rate* - AvCR), при установлении нового соединения любой категории обслуживания, кроме UBR (так как для передачи трафика класса D определяется только возможность узла поддержать UBR-соединение). Комплексный алгоритм GCAC задействуется только при установлении CBR- и VBR-соединений и учитывает дополнительные динамические параметры-атрибуты, а именно, маргинальный параметр вариации эквивалентной пропускной способности соединения данной категории обслуживания (*Cell Rate Margin* - CRM), определяющий разницу между полосой пропускания, выделенной для данного класса трафика и запрашиваемой средней скорости передачи ячеек SCR для организации нового виртуального соединения VC, а так же параметр вариации (*Variance Factor* - VF), - величину CRM, нормализованную вариацией суммарной (агрегированной) скорости ячейки в линии. После того как определен набор приемлемых маршрутов, рассчитывается самый короткий из них с учетом административного веса (*Administrative Weight* - AW). Величина AW устанавливается администратором сети и используется для маркировки предпочтительности линии (например, из двух линий с одинаковой полосой пропускания одна имеет меньшую сетевую задержку, но стоит дороже). После того, как оптимальный маршрут вычислен, входной АТМ -коммутатор создает транзитный список промежуточных коммутаторов (*Designated transit list* - DTL) и вкладывает этот список в сигнальный UNI-запрос, который направляется через сеть к коммутатору адресата по маршруту, указанному в списке DTL. На каждом коммутаторе маршрута передачи вызова осуществляется процедура контроля за установлением соединения (*Connection Admission Control* - SAC). Процедура SAC, включающая в себя основные функции сигнализации, производит оценку возможности предоставления коммутатором запрашиваемых физических сетевых ресурсов для поддержания данного запроса. Если ресурсов достаточно, то их необходимая часть

резервируется за соединением. В противном случае вызов блокируется, а вызов возвращается во входной коммутатор, который создал список DTL, с указанием причины блокировки запроса. Источник может выбрать новый маршрут из списка рассчитанных в обход коммутатора, который блокировал установление соединения. САС -алгоритм, используемый протоколами PNNI не является частью спецификаций протоколов маршрутизации и сигнализации и может иметь в коммутаторах различную реализацию. В процессе установления виртуального соединения в коммутаторах АТМ формируются таблицы маршрутизации, в которых указывается адрес входного порта и значения полей идентификаторов виртуального пути (*Virtual path identifier - VPI*) и виртуального канала (*Virtual channel identifier - VCI*) заголовка ячейки, а также адрес выходного порта и новые значения VPI/VCI исходящего порта. Таким образом, реализация функции маршрутизации в сети АТМ в режиме установленного соединения заключается в определении требуемого исходящего маршрута передачи, или в определении новых значений комбинации идентификаторов VPI/VCI. Комбинация VPI/VCI не является ни адресом отправителя, ни адресом получателя, а имеет только локальное значение. Механизм маршрутизации ячеек в коммутаторах АТМ может базироваться либо на непосредственном использовании таблицы маршрутизации для определения значений идентификаторов VPI/VCI и выбора маршрута передачи (непрямая маршрутизация), либо на так называемой технологии «расходной метки» (*label swapping*) или самомаршрутизации. Принцип самомаршрутизации заключается в следующем. На входе пограничного коммутатора сети к каждой ячейке добавляется дополнительная метка, благодаря которой ячейка может быть идентифицирована и передана через транзитный коммутатор в требуемом направлении. Каждая метка описывает физический маршрут ячейки и представляется в виде перечня транзитных коммутаторов и выходных портов, через которые она должна пройти. В этом случае коммутаторы не вычисляют новые значения комбинации идентификаторов VPI/VCI, так как маршрут явно записан в каждой ячейке. При прохождении очередного транзитного коммутатора маршрута передачи использованная информация из содержимого метки удаляется. Каждый тип идентификатора обрабатывается в сети соответствующим коммутатором АТМ. В частности, идентификатор виртуального пути VPI обрабатывается коммутаторами виртуальных путей, называемыми также кроссовыми коммутаторами VP или цифровыми кроссовыми коммутаторами (*Digital Cross Connect - DDC*), а коммутаторы виртуальных каналов используют при анализе маршрутной информации оба идентификатора, - VPI и VCI. Необходимо отметить, что введенная в сети АТМ концепция виртуальных путей позволила резко уменьшить размер таблиц коммутации

в транзитных узлах, так как VCI в них не меняются. Таким образом, любой маршрут в сети АТМ образуется двумя типами последовательных соединений: соединений виртуальных путей VPC и соединений виртуальных каналов VCC. Разделение маршрутов на «долгосрочные» для VPC и «краткосрочные» для VCC предъявляет повышенные требования к эффективности долгосрочных (транспортных) маршрутов для VPC. В процессе прохождения маршрута от источника до адреса некоторые VCC, имеющие общую часть маршрута, объединяются в общие VPC. Часть соединения виртуального канала между смежными коммутаторами, в которых присваиваются и/или изменяются значения VCI, называется звеном виртуального канала (*VCL - Virtual Channel Link*). Аналогично вводится определение звена виртуального пути (*VPL - Virtual Path Link*) между кроссовыми коммутаторами АТМ. Соединение виртуальных каналов VCC – это соединение, устанавливаемое между двумя конечными точками сети АТМ на время их взаимодействия, т. е. VCC создается между реальными пользователями сети. При выборе маршрута соединения виртуальных каналов коммутаторы АТМ определяют, какие существующие звенья виртуальных путей в сети должны быть использованы для достижения конечной точки. Соединение виртуальных каналов в сети АТМ является двунаправленным и может быть асимметричным. Соединения виртуальных путей и виртуальных каналов устанавливаются через физические тракты передачи, связывающие устройства АТМ. Ячейки, передаваемые по одному соединению VCC должны иметь одинаковую транзитную задержку и ее флуктуацию, хотя могут иметь различный приоритет потери ячеек.

Под ретрансляцией ячеек будем понимать процесс передачи ячеек из входного порта коммутатора в исходящий порт, т.е. в режиме установленного соединения коммутаторы функционируют как мосты [26, 45]. Для передачи ячеек внутри коммутатора АТМ входные модули (адаптеры) дополняют каждую ячейку специальным внутренним дескриптором (Tag) маршрутизации, которые удаляются выходными модулями [50]. В технологии АТМ качество сервиса ассоциируется с определенными службами уровня адаптации АТМ, которые соответствующим образом «окрашивают» трафик в сети [35]. Поскольку в режиме установленного соединения параметры QoS не содержатся в заголовке ячейки, для этой цели на уровне АТМ могут использоваться значения индикаторов виртуальных каналов и виртуальных путей. Информация о параметрах QoS может также размещаться во внутренних дескрипторах маршрутизации. Процесс ретрансляции ячеек по сети характеризуется количеством потерянных ячеек (из-за ошибок в заголовке и/или переполнения буферов) и временем задержки передачи. В [31] приведены допустимые значения коэффициента потери ячеек

для различных типов трафика, а также главные факторы, определяющие общую задержку ячеек в сети.

Концентрация и мультиплексирование. Мультиплексирование и концентрация потока ячеек осуществляются на входах коммутационного поля коммутатора АТМ для наиболее эффективного использования ЛЦТ передачи, при этом коммутатор агрегирует поток с низкой переменной скоростью ячеек в поток с более высокой скоростью.

Управление потоком. Управление потоками разнородного трафика предотвращает перегрузки в сети и обеспечивает контроль за распределением сетевых ресурсов между виртуальными соединениями в соответствии с требуемым качеством обслуживания, т.е. в конечном итоге управление потоком есть управление QoS в сети. При управлении трафиком в сети к VC и VP могут быть применены различные механизмы и процедуры. Существует два типа управления информационными потоками в сети АТМ – превентивный, базирующийся на контроле соблюдения условий трафик -контракта, и адаптивный, основанный на контроле использования свободной полосы пропускания. Превентивное управление потоком применяется службами CBR и VBRrt в основном при передаче изохронного трафика, качественные параметры которого заранее известны или поддаются прогнозированию. Службами ABR и UBR обычно реализуется адаптивное управление потоком данных. Механизмы управления трафиком для сетей АТМ определены АТМ Forum в спецификации Traffic Management v. 4.0 и ITU-T в Рекомендации I.371 Traffic Control and Congestion Control in B-ISDN и охватывают фазы установления и поддержания виртуального соединения.

Первой предупредительной мерой защиты сети от перегрузок является проведение процедуры контроля за установлением соединения SAC на каждом коммутаторе маршрута передачи запроса. В режиме установленного соединения механизмы управления трафиком для предотвращения и ликвидации перегрузок контролируют и регулируют выполнение условий «трафик–контракта», как со стороны сети, так и со стороны пользователя. Процесс управления потоком в режиме установленного соединения является многоступенчатым и включает в себя: формирование трафика (*Traffic Shaping*), контроль параметров пользовательского и сетевого трафика (*Usage Parameter Control /Networks Parameter Control - UPC*)/NPC), обобщенное управление потоком (*Generic Flow Control - GFC*), контроль приоритетов (*Priority Control*), отбраковку пакетов (*Frame Discard*), выборочную отбраковку пакетов (*Selective Cell Discard*) и контроль потоков ABR (*ABR Flow Control*) и UBR (*UBR Flow Control*).

Для управления потоком в сети АТМ обеспечивается сбор статистических данных в реальном времени по каждому виртуальному со-

единению.

Формирование трафика. Формирование трафика направленно в основном на сглаживание неравномерного входного потока ячеек, в результате которого значения пиковой и доступной скорости передачи и длина пачек ячеек входящего в сеть информационного потока приводятся в соответствие с оговоренными в «трафик –контракте». Формирование трафика может быть выполнено как оконечной системой, так и сетью АТМ. Некоторые механизмы Traffic Shaping применяются для выравнивания переменной составляющей сетевой задержки (джиттера) изохронного трафика на приеме. Traffic Shaping может также использоваться при передаче потока ячеек из одной сети в другую в целях выполнения трафик -контракта, заключенного между сетями. Формирование трафика может осуществляться с помощью следующих механизмов [24, 45]:

Буферизация. Заголовок ячейки обычно обрабатывается во входных адаптерах коммутатора АТМ. Из-за статистического характера входного трафика, даже при использовании неблокирующихся коммутационных структур ячейки из разных входных портов могут конкурировать за одновременный доступ к одному и тому же выходному порту. Для разрешения конфликтов на выходе и исключения потерь ячеек во входных (выходных) адаптерах или внутри коммутационного устройства предусматриваются буферные накопители для промежуточного хранения ячеек. Способы организации очередей в коммутаторах АТМ приведены, например, в [24, 31, 45, 50, 51]. Число, размер и способ организации буферов имеют важное значение при его разработке и напрямую связаны с эффективностью использования полосы пропускания цифрового тракта. Описание наиболее распространенные методы буферизации ячеек с организацией очередей на входе, выходе и внутри коммутатора, а также применение рециркулярных буферов, описаны в [50, 51]. Приведем четыре наиболее распространенных метода буферизации [51]:

а) Организация очередей на входе. Примером такого варианта может служить организация буферов на входных портах неблокирующей структуры с пространственным разделением. К недостаткам указанного способа можно отнести опасность возникновения блокировки в начале очереди. Если две одновременно поступившие ячейки направляются на один и тот же выходной порт, одна из них попадает во входной буфер и будет препятствовать прохождению следующих ячеек, снижая производительность коммутатора. Решением проблемы являются значительное увеличение производительности коммутационного поля или замена дисциплины обслуживания «первый пришел – первый обслужен», на другую, например, на «пришедший первым обслуживается в случайном порядке».

б) Организация очередей на выходе. Этот тип буферизации используется в выходных портах структуры с разделяемой шиной. Указанный метод буферизации оптимален с точки зрения производительности и задержек, но требует применения дополнительных средств для организации одновременной множественной доставки ячеек на любой выходной порт, а именно: либо существенного повышения быстродействия коммутатора, либо увеличения емкости выходных буферов.

в) Внутренняя организация очереди. В некоторых структурах с пространственным разделением для уменьшения вероятности внутренней блокировки устанавливаются буферы внутри коммутационных элементов. Однако такое решение приводит к возникновению блокировки в начале очереди и увеличению задержки ячейки при ее прохождении через коммутационное поле.

г) Применение рециркуляционных буферов. Одним из способов, применяемых для снижения вероятности внутренней блокировки в структурах с пространственным разделением, является применение рециркуляционных буферов. В этом случае заблокированные ячейки на выходе направляются на входные порты коммутатора через рециркуляционные буферы для повторной передачи. Указанный метод позволяет достичь оптимальной производительности коммутатора и уменьшения задержек при организации выходных очередей, однако при этом требуется дополнительная емкость коммутационного поля для ретрансляции рециркулируемых ячеек и обеспечение сохранения исходной последовательности ячеек, проходящих через коммутатор, что значительно усложняет управление коммутацией.

Известны пять схем разделения буферной памяти [51]:

1) схема полного разделения (*Complete Partitioning* - PC). Предполагает фиксированное разделение суммарной емкости буферного пространства между ячейками, направляемыми на разные выходы. При этом буферное пространство может объединять физически разные буферы;

2) полнодоступная схема (*Complete Sharing* – CS. Поступающая ячейка буферизуется при наличии свободного места в общей памяти, независимо от того, на какой выход она адресуется;

3) полнодоступная схема с индивидуальными ограничениями на длины выходных очередей, называемыми потолками (*Sharing with a Maximum Queue lengths* - SMQ). Является развитием предыдущей. Здесь при наличии общей полнодоступной буферной памяти вводится фиксированное максимальное значение количества буферированных ячеек, направляемых на разные выходы, т.е. число ячеек каждого типа не может превышать заданного значения (потолка);

4) неполнодоступная схема (*Sharing with a Minimum Allocation* -

SMA). Представляет собой объединение двух схем CP и CS, поскольку предполагает наличие как общей буферной памяти CS, так и ее выделенных частей для ячеек каждого типа CP;

5) неполнодоступная схема с индивидуальными потолками (*Sharing with a Maximum Queue and Minimum Allocation* - SMQMA). В отличие от предыдущей вводит индивидуальные ограничения в общей части буферной памяти.

Несмотря на то что буферизация ячеек, приводящая к образованию очередей в сети, вносит переменные задержки ячеек при их передаче, механизмы управления буферами являются одними из основных механизмов управления трафиком и поддержания изохронности передачи путем компенсации флуктуации переменной составляющей сетевой задержки в приемнике. Значение интервала времени накопления во входном буфере приемника должно быть по меньшей мере равно времени транзитной задержки плюс максимальное значение джиттера [31]. Механизмы управления буферами реализуют алгоритмы сброса ячеек на входе и обработку очередей на выходе из буферов на основе анализа полей внутреннего дескриптора маршрутизации [50], который включает проверку отметок времени и другой служебной информации; кроме того, механизмы управления предоставляют модулю управления коммутатором данные о его функционировании, перегрузках внутри коммутационного поля и сброшенных ячейках, а также сведения, необходимые для учета ресурсов. В [51, 52] обсуждаются различные подходы к построению управляемых буферов в коммутаторах АТМ. Предпочтение отдается идее организации индивидуальных буферов в выходных портах коммутатора для каждого виртуального соединения, причем виртуальные соединения размещаются в индивидуальных очередях в соответствии с требуемой категорией и заданным качеством обслуживания. Объем буфера и алгоритм обработки поступающих в него данных непосредственно связаны с типом трафика, обслуживаемым определенной категорией обслуживания UBR, ABR, VBR или CBR и его характеристиками, при этом динамическое распределение буферной памяти более предпочтительно. В [45] рассмотрены различные алгоритмы сброса ячеек в коммутаторах АТМ при переполнении его выходных буферов. Показано, что лучшим решением является применение адаптивного алгоритма удаления ячеек, когда граница сброса для каждого соединения индивидуальна. Решение о сбросе ячеек производится с учетом текущего заполнения всего буферного пространства и индивидуальных буферов для каждого соединения, а также с учетом категории обслуживания, предоставленной соединению. Объем буфера, выделяемый под конкретное виртуальное соединение VCC, напрямую связан с поддержанием службами AAL требуемых параметров QoS для определенных классов тра-

фика. Размер буферов коммутатора АТМ в значительной мере также зависит от используемого механизма обратной связи службой АВР [53]. В настоящее время практически все производители коммутаторов АТМ используют организацию индивидуальных буферов для каждого виртуального соединения.

Расстановка. Ячейки от множества виртуальных соединений помещаются в очереди. При отправлении некоторые ячейки во входной очереди помечаются как некомфортные и принудительно сбрасываются. Интервал сброса «некомфортной ячейки» задается. При применении процедуры расстановки на выходе коммутатора формируется регулярный поток ячеек, что дает возможность минимизировать разброс задержки ячеек в сети. Это существенно для передачи изохронного трафика. Недостаток метода заключается в том, что сброшенные ячейки могут представлять для получателя большую ценность, чем отправленные. Краткое описание процесса формирования трафика с помощью метода расстановки приведено в [45].

Планирование. Для регулирования скорости поступления ячеек в режиме СВР или приведения в соответствие максимального размера пульсаций МБС в VCC или VPC с различными категориями обслуживания, в транзитных коммутаторах АТМ может применяться адаптивный механизм настройки интервала прибытия ячеек [22]. Более сложным способом формирования трафика, используемым службой СВР, является планирование, при котором ячейки поступают в коммутационное поле через точные временные интервалы. Возможность управления временным интервалом между прибытием ячеек и планирования ретрансляции ячеек через коммутационное поле позволяет минимизировать величину CDV и обеспечить заданную изохронность передачи.

Кадрирование. Метод кадрирования регламентирует порядок размещения асинхронного потока ячеек в синхронные структуры кадров систем передачи с учетом категории обслуживания соединения. При формировании кадра в первую очередь на отправку размещаются ячейки, для которых транзитная задержка и ее переменная составляющая лимитированы в заданных пределах, т.е. ячейки, требующие изохронной передачи. Указанный метод, как и метод расстановки и планирования, позволяет управлять флуктуацией переменной составляющей сетевой задержки изохронного трафика.

Обслуживание очередей. Алгоритм обслуживания очереди определяет порядок передачи ячеек из определенных областей памяти коммутатора, в которых сосредоточены ячейки с одинаковым уровнем приоритета. Очевидно, что высший приоритет должен предоставляться трафику с более строгими требованиями к передаче при условии, что ячейкам с низким уровнем приоритета гарантируется соответ-

вующее внимание. Наиболее простой метод выбора при статистическом мультиплексировании разнородного трафика в общем тракте передачи состоит во *введении схемы приоритетов* за различными категориями обслуживания в сети АТМ. Самые простые алгоритмы обслуживают каждую очередь по принципу «первый пришел – первый обслужен». Однако, в этом случае при возникновении перегрузки служба очередей не гарантирует своевременной доставки приоритетных ячеек, а гарантируется только, что они будут переданы раньше, чем имеющие более низкий приоритет. Кроме того, при этом ячейки низкоприоритетных служб могут постоянно дискриминироваться сетью, сталкиваясь с нехваткой сетевых ресурсов для их обслуживания. Другой подход, предложенный в [45], предполагает предварительное разделение ресурсов, при котором, например, трафик СВР получает наивысший приоритет при выделении физических ресурсов сети в режиме установления соединения, а все остальные службы остаток сетевых ресурсов получают в соответствии с присвоенными им весами. Пропорции (веса) могут пересматриваться при установлении каждого очередного виртуального соединения. В [50] приводится описание *метода расписания*, при котором любая ячейка имеет установленное время отправления из очереди (deadline), назначаемое с учетом параметров QoS. Ячейки, пропустившие установленное время отправления, в зависимости от параметров трафика и реализации коммутатора могут получить отказ. Если услуга предоставляется ячейке с наиболее близким предельным временем отправления, то число отбрасываемых ячеек удастся минимизировать. В соответствии с другой схемой время делится на циклы, и решение принимается в начале каждого цикла, а не перед поступлением ячейки в буфер. В настоящее время выбор и реализация алгоритмов предоставления полосы пропускания остаются за производителями коммутаторов. В любом случае, уровень приоритета определяется типом выбранной категории обслуживания и параметрами качества обслуживания.

Понижение максимальной скорости передачи. Отправитель устанавливает значение пиковой скорости при передаче ниже по сравнению с согласованным в трафик -контракте.

Ограничение объема посылки. Отправитель устанавливает размер посылки меньше MBS, указанной в трафик -контракте.

Ограничение скорости отправителя. Реальная скорость передачи ячеек ограничивается некоторым значением.

Контроль приоритетов ячеек. Для реализации заданных параметров QoS в коммутаторах АТМ применяется явный способ назначения приоритетов данных, при котором пользователь запрашивает определенную категорию обслуживания при установлении виртуального соединения (при неявном назначении приоритетов коммутатор авто-

матически присваивает службам соответствующие уровни приоритетов исходя из заданных пользователем или администратором сети критериев, например, по адресам источника или адресата). Для идентификации приоритета обслуживания ячеек коммутаторы используют поле приоритета потери ячейки CLP. В случае, когда буферы заполнены, ячейки с более низким приоритетом (CLP=1) отбрасываются первыми. Значение поля CLP устанавливается пользователем, либо подсистемой контроля параметров UPC коммутатора АТМ, например, когда величина трафика пользователя превышает величину, оговоренную в трафик -контракте. Однако поскольку ячейки одного и того же соединения VPC/VCC должны обслуживаться последовательно, ячейки с разными приоритетами потерь могут смешиваться в буфере. В связи с этим существуют различные стратегии помещения в заполненный буфер ячеек с CLP=0 и CLP=1 [50]. В схеме выталкивания (push-out) ячейки с CLP=1 не допускаются в заполненный буфер и принимаются лишь ячейки с CLP=0 (если отказ от ячеек с CLP=1 позволяет освободить часть буферного пространства). Такой способ позволяет добиться оптимальной производительности. В методе частичного разделения буферизуются ячейки и с CLP=0 и CLP=1, но при условии, что число ячеек в очереди ниже определенного порогового значения. В документе ITU-T Recommendation 1.413. B-ISDN User - Network Interface описаны варианты использования буферного пространства в коммутаторах АТМ при обслуживании потока двух приоритетных ячеек на основе значений поля CLP и алгоритмы их обслуживания. Приводятся результаты исследований. Оптимальным вариантом является применение частичного разделения буфера, при котором ячейка с приоритетом CLP=0 записывается в незаполненный буфер всегда, а ячейки с низким приоритетом (CLP=1) могут быть записаны в буфер при условии, если он заполнен до определенного порогового значения, которое всегда меньше значения размера всей емкости буфера.

Контроль параметров пользователя и сетевых параметров. Контроль параметров пользователя и сетевых параметров определяет набор выполняемых сетью действий по измерению скорости поступающего в сеть АТМ входного пользовательского или межсетевого трафика и поддержанию согласованного в трафик -контракте уровня приоритетности ячеек и заявленной скорости их передачи. Механизм NPC для контроля параметров потока ячеек через интерфейс NNI использует те же алгоритмы, что и UNI. Механизмы UPC/NPC обеспечивают превентивное управление информационным потоком на основе обратной связи: GFC и EFCI. Алгоритмы SAC и UPC/NPC включены в общий алгоритм регулирования скорости ячеек (*Generic Cell Rate Algorithm – GCRA*), который используется для оценки соответствия

параметров трафика заявленным в контракте и определен в Рекомендации I.371 ITU-T. Существует два типа алгоритма GCRA: алгоритм виртуального планирования и алгоритм «дырявое ведро» («*Leaky Bucket*»), причем последний является основным механизмом регулирования скорости поступления ячеек в сеть АТМ. Указанная процедура функционально реализуется в коммутаторе доступа на входе в сеть или в межсетевом коммутаторе, при этом используется комбинация параметров качества услуг и параметров трафика, которые в свою очередь задают параметры GCRA (I, L), где I – величина, на которую «ведро» или некоторая очередь (область памяти) заполняется по мере поступления ячеек, а L – величина допустимого предела заполнения «ведра». Таким образом, параметр I определяет скорость поступления ячеек (PCR или SCR), а L – допуск переменной составляющей сетевой задержки (CDV Tolerance – CDVT), определяющий величину флуктуации межъячеечного интервала и длину пачки. Количество «дырявых ведер» и их параметры для каждого виртуального канала зависят от параметров качества обслуживания, предъявляемых приложением. Например, при организации виртуальных соединений службой VBRrt задействуется система из двух «ведер». В этой системе первое «ведро» контролирует параметры PCR и CDVT, а второе – параметры SCR, CDVT и длительность случайного периода времени, за который приложение может сгенерировать максимальный размер пульсации MBS (объем данных или количество ячеек следующих друг за другом (back-to-back) со скоростью PCR. Этот период, называемый периодом допустимой пульсации (*Burst Tolerance – BT*), вычисляется сетью с учетом заданных значений PCR, SCR и MBS ($BT = (MBS - 1) / (SCR - 1 / PCR)$) [22]. Глубина первого «ведра», выбираемая с учетом PCR ($CLP=0+CLP=1$), по существу определяет параметры GCRA (1/PCR, CDVT), а глубина второго «ведра» – параметры GCRA (1/SCR, BT+CDVT). Параметры PCR, SCR, BT и CDVT однозначно определяют функционирование алгоритма GCRA. Тест на определение соответствия параметров трафика заявленным запускается каждый раз когда ячейка поступает в коммутатор. Примеры реализации UPC с одним и двумя алгоритмами «дырявое ведро» описаны, например, в [22, 24, 26, 32]. Отметим, что при применении в виртуальном соединении одного механизма «дырявое ведро» для обеспечения заданной скорости передачи данных, «ведро» никогда не переполнится, т. к. ячейки, которые могут это вызвать, будут маркироваться как некомфортные.

Обобщенное управление потоком. Обобщенное управление потоком используется для контроля и управления скоростью поступления трафика в коммутатор доступа к сети АТМ, с целью устранения кратковременных перегрузок на интерфейсе «пользователь-сеть». Алгоритм GFC является одним из представителей семейства кредитных

схем управления потоком [54]. Описание механизма GFC приведено в Рекомендациях I.150 ITU-T. Основные требования, которым должен удовлетворять протокол GFC изложены в [24]. GFC идентифицирует принадлежность каждой ячейки либо к трафику виртуальных соединений с зарезервированной полосой пропускания (неуправляемый трафик), либо к трафику соединений, для которых полоса пропускания не резервируется (управляемый трафик). Значение поля GFC, устанавливаемое источником, используется для спецификации очередей управляемого трафика. Если функция GFC не используется (неуправляемый трафик), то поле GFC по умолчанию заполняется нулями. В настоящее время стандартизирован только неуправляемый режим.

Отбраковка фреймов. В технологии АТМ сообщения данных - фрейма (Frame) отбрасываются, если хотя бы одна из ячеек потеряна или искажена. Поврежденные фреймы изымаются из обращения с помощью механизма сброса остатков пакета (*Partial Packet Discard* - PPD). Идея механизма PPD очень проста. При обнаружении поврежденного (неполного) фрейма алгоритм PPD сбрасывает все ячейки, кроме последней. Последняя ячейка (*End of Message* – EOM) – передается дальше. Обнаружив ее, приемник определяет, что сообщение данных было послано, но не дошло полностью, и формирует запрос на повторную его передачу. Механизм PPD применяется не только при искажении сообщения данных в сети, но и в ситуации, когда ячейки не укладываются в отведенный им временной интервал, например, когда ячейка видео «опаздывает» и не вписывается в допустимый интервал разброса значений временных задержек, она уничтожается, чтобы не вызвать наложения видеок кадров. Уничтожаются и оставшиеся ячейки фрейма. Некоторая потеря качества изображения в этом случае менее важна, чем нарушение передачи сигнала.

Второй способ отбраковки сообщений данных применяется коммутаторами АТМ при обнаружении предстоящей перегрузки. Указанный механизм называется механизмом раннего сброса пакета (*Early Packet Discard* - EPD). Механизм EPD позволяет коммутатору АТМ самому спрогнозировать предстоящую перегрузку и осуществить удаление фрейма со всеми входящими в него ячейками еще до попадания их в буфер.

Указанные механизмы на порядок увеличивают полезную пропускную способность сети [52].

Выборочный сброс ячеек. При необходимости коммутатор, для предотвращения перегрузок может производить выборочный сброс ячеек SCD с использованием механизма раннего сброса пакета EPD или механизма расстановки, т. е. использовать так называемую скрытую (неявную) обратную связь для уведомления о перегрузках в сети.

Управление потоком службой ABR. В технологии ATM применяются так называемые кредитные и/или скоростные схемы адаптивного управления разнородными потоками, которые базируются на принципах обратной связи (feedback). Механизмы обратной связи, кроме того, нацелены на предотвращение и ликвидацию перегрузок в сети, возникающих из-за переполнения порогов очередей в коммутаторах ATM. Для реализации указанных механизмов в сетях ATM используются специальные управляющие ячейки и/или специальные поля в заголовках информационных ячеек (явная обратная связь).

При кредитной схеме на входящих портах коммутатора под конкретное виртуальное соединение заранее резервируются определенные объемы буферной памяти для приема ячеек (кредиты). Количество принимаемых ячеек определяется объемами выделенных буферов. Кредитная схема гарантирует, что источник никогда не передаст трафик большего объема, чем получатель готов принять. В этих схемах обмен управляющей информацией происходит между соседними устройствами, что сокращает реакцию алгоритма управления потоком на изменение ситуации в сети. Вариантами реализации кредитной схемы управления потоком являются, например, алгоритм GFC и алгоритм квантового управления потоком (*Quantum Flow Control - QFC*) Альянса QFC. Алгоритм QFC предназначен для контроля за сильно неравномерным трафиком, обсуживаемый службой ABR, с обеспечением нулевого коэффициента потерь ячеек. Работа алгоритма QFC описана в [55].

В службу ABR скоростные схемы управления потоком, базирующиеся на различных механизмах обратной связи, введены в 1996 г. в спецификации Traffic Management 4.0 Форума ATM. Схемы управления потоком ABR основаны на включении в поток данных служебных ячеек (*Resource Management – RM*), которые призваны информировать отправителя о перегрузках в сети. RM ячейки представляет собой стандартную 53-байтную ATM ячейку с полем идентификатора полезной нагрузки (*Payload Type Identifier – PTI*) в заголовке, установленным в значение 110. Ячейки RM, следующие в направлении основного потока данных называются прямыми (*Forward RM - FRM*), а следующие в противоположном направлении – обратными (*Backward RM - BRM*). Альтернативный метод управления потоком был предложен ИТУ-Т в Рекомендациях I.371, который разработал службу передачи блоков ATM (*ATM Block Transfer - ABT*). ABT, в отличие от службы ABR, периодически (по мере необходимости) резервирует полосу пропускания для передачи имеющихся в этот момент пользовательских данных. Имеется два алгоритма: ABT с задержкой передачи (*ABT Delayed Transmission - ABT/DT*), когда передача сообщения задерживается на время, необходимое для резервиро-

вания требуемых ресурсов и получения подтверждения и АВТ с мгновенной передачей (*AVT Immediate Transmission* - АВТ/ИТ), когда сообщение передается сразу же вслед за ячейкой RМ, не дожидаясь подтверждения. Во втором случае успешная доставка данных не гарантируется.

В [57] приводится описание технологии *Voice Networking* фирмы *Nortel*, которая использует в своих коммутаторах АТМ механизмы обратной связи также и для управления речевым трафиком при обслуживании его службой *VBRrt*. Указанная технология предписывает для источника, при получении сообщения о возникновении перегрузки, снижение скорости передачи речи путем увеличения степени его сжатия. После ликвидации перегрузки источник вводит прежний алгоритм компрессии голоса, обеспечивающий его заявленное качество.

В скоростных схемах управления потоком в службе АВР выделяют три типа обратной связи: явная индикация перегрузки при прямой передаче (*Explicit Forward Congestion Indication* - EFCI), явная индикация скорости (*Explicit Rate* - ER) и метод виртуальных отправителей и получателей (*Virtual Source /Virtual Destination* - VS/VD) [22, 45]. Алгоритмы работы скоростных схем управления потоком, использующих отрицательную и положительную обратную связь на базе механизма явной индикации перегрузки при прямой передаче EFCI, кратко изложены в [54].

При использовании схемы управления потоком с отрицательной обратной связью в случае перегрузки промежуточный коммутатор в заголовке информационной ячейки устанавливает значение второго бита в поле идентификатора полезной нагрузки РТІ, равное 1, информируя тем самым приемник о перегрузке в конкретном виртуальном соединении. Варианты кодирования поля РТІ приведены в [31, 32]. Приемник, получив информацию о перегрузке, генерирует ячейку ВRМ, устанавливая в ней значение бита индикатора перегрузки (*Congestion indication* – CI) равное 1. Отправитель, получив извещение о перегрузке (CI = 1), начинает снижать скорость передачи трафика до тех пор, пока продолжает поступать информация о перегрузке. После того как извещение о перегрузке прекращается, по истечении определенного времени, отправитель может начать передачу информации и увеличить скорость передачи вплоть до максимального значения РСR. Одной из проблем этой бинарной схемы является медленный отклик на изменения перегрузки в сети из-за необходимости установления сквозной петли обратной связи между конечными узлами. Второй значимый недостаток указанной схемы: при попадании ячеек ВRМ в перегруженный поток, отправитель может никогда не узнать о перегрузке в сети, т.е. появляется потенциальная возможность возникновения аварийной ситуации. В связи с этим Форумом АТМ на базе ме-

ханизма EFCI был разработан более устойчивый алгоритм управления потоком (*Proportional Rate Control Algorithm – PRCA*), который основан на принципе положительной обратной связи. При использовании PRCA источник увеличивает скорость передачи трафика только при получении на это разрешения от приемника. В противном случае источник обязан последовательно снижать скорость пропорционально числу передаваемых ячеек. Приемник генерирует ячейку BRM каждый раз при получении в потоке N-й информационной ячейки со значением поля EFCI=0. Значение интервала *Nrm* задается сетью на этапе установления соединения и определяет время реакции на перегрузку. В случае перегрузки любой промежуточный коммутатор изменяет значение поля EFCI N-й информационной ячейки с 0 на 1. Значение EFCI=1 в N-х информационных ячейках запрещает приемнику генерировать ячейки BRM. Промежуточный коммутатор может также самостоятельно удалять ячейки BRM, передаваемые по перегруженному каналу. Необходимо отметить, что при использовании алгоритма PRCA текущая допустимая скорость передачи (*Allowed Cell Rate - ACR*) ячеек в виртуальных соединениях будет разной, так как плотность ячеек со значением EFCI=1, которое устанавливает каждый перегруженный коммутатор в N-ой информационной ячейке в потоке, зависит от числа пройденных перегруженных участков сети. Кроме того, в скоростных схемах управления потоком с EFCI основную ответственность за управление потоком несет конечный коммутатор, а транзитные коммутаторы играют пассивную роль в петле обратной связи, только уведомляя источник о перегрузке. Более того, BRM не сообщает источнику на какую величину необходимо уменьшить скорость передачи данных, и последний понижает скорость до минимальной, хотя, возможно, это и не обязательно. Еще одним недостатком указанной схемы управления является достаточно большая задержка на распространение управляющей информации между конечными точками, в течение которой транзитные коммутаторы будут буферизировать данные, что может привести к их переполнению и требуемый эффект достигнут не будет.

Скоростная схема управления потоком с явной индикацией скорости (*Explicit Rate - ER*) позволяет источнику точно указать допустимую на данный момент скорость отправки ячеек. В этом случае значение скорости передачи трафика задается отправителем в явном виде в ячейке RM, формируемой также через определенное число *Nrm* (определяется сетью) информационных ячеек, которые передаются с битом EFCI=0. Источник начинает передачу на начальной скорости ячейки (*Initial Cell Rate – ICR*), которая всегда больше или равна MCR, но никогда не превышает PCR. Значение текущей допустимой скорости ACR как и значение начальной скорости ICR никогда не

опускается ниже величины скорости MCR источника. Вначале величина скорости ячейки ACR будет устанавливаться источником в ICR на максимум. Источник будет посылать FRM ячейку через каждые Nrm-1 ячеек данных, которая, по ее возвращению, будет использована им для подстройки скорости передачи. FRM ячейки содержат значение скорости ACR источника, помещенное в поле текущая скорость ячейки (*Current Cell Rate – CCR*) и значение желаемой скорости (которая может быть значением PCR), помещенное в поле точная скорость ER. По мере прохождения FRM ячейки по сети транзитные коммутаторы могут либо изменять содержимое поля ER либо устанавливать бит индикация перегрузки (*Congestion Indication - CI*) или бит «не увеличивать» (*No Increase - NI*) в единицу. Коммутатор будет усреднять значения ACR на данном интерфейсе, сравнивая его с реально возможной скоростью, и указывать величину скорости равную той, которая может реально им обеспечена. Приемник при получении FRM ячейки будет устанавливать поле «Направление» (*Direction - DIR*), подстраивать, если надо, поля ER, CI или NI, а также устанавливать бит CI в 1, если EFCI бит был установлен в последней ячейке данных. На обратном пути ячейки коммутаторы могут еще раз изменить поле ER. При получении BRM ячейки источник вначале анализирует флаг CI. Если он установлен, - источник будет уменьшать скорость ACR на величину $ACR * RDF$ до минимального значения CCR (*RDF – Rate Decrease Factor: множитель уменьшения скорости*). Если флаг CI не установлен, источник начнет увеличивать ACR с шагом $RIF * PCR$ до максимального PCR (*RIF – Rate Increase Factor множитель увеличения скорости*). Если NI=0, то источник не будет увеличивать ACR. После проведения указанной регулировки источник анализирует поле ER и устанавливает значение скорости передачи в меньшее из двух значений: новой скорости ACR или ER, но не ниже MCR. Предполагается, что эта RM ячейка будет принята источником после истечения сетевого времени кругового обхода (*Fixed Round Trip Time - FRTT*). Если этого не происходит, то источник будет уменьшать скорость передачи ACR на RDF в интервале генерации FRM до тех пор, пока не достигнет значения MCR. RDF является заранее определенным уменьшающим множителем. Если возвращающаяся RM ячейка получена источником, но задержалась, то источник все равно будет уменьшать скорость передачи.

Заметим, что промежуточные коммутаторы ATM и получатель могут лишь уменьшать значение в поле ER служебных ячеек (прямых и обратных) до приемлемой для них величины, а также, что алгоритм ER, как и алгоритм PRCA, обязывает источник всегда снижать скорость передачи трафика при отсутствии ячеек BRM, что избавляет сеть от возможных перегрузок, связанных с их потерей. Другие поля

внутри RM ячейки содержат информацию, касающуюся направления и MCR. Значения полей RM ячейки приведены в табл. 3, а документ I.371 содержит дополнительную информацию. Как свидетельствует проведенный выше анализ, каждый из рассмотренных алгоритмов управления трафиком для защиты от перегрузок имеет свои достоинства и недостатки. Наилучшим решением было бы применение комбинированных алгоритмов на разных участках виртуального соединения.

Таблица 3

Поле	Длина	Назначение
Protocol ID	8	Описывает функцию RM ячейки.
Направление (DIR)	1	Указывает направление движения ячейки от источника к приемнику (0) или наоборот (1)
BECN (BN)	1	Показывает, что RM ячейка сгенерирована коммутатором; это поле будет установлено коммутатором, который разворачивает RM ячейку и посылает ее обратно к источнику во время перегруженности в сети
Индикация перегруженности (CI)	1	Указывает источнику, чтобы он не увеличивал свою скорость передачи. (Устанавливается коммутаторами или приемником)
Индикация перегруженности (NI)	1	Предотвращает от увеличения ACR источника, но не вызывает уменьшение, если NI = 1
Точная скорость ячейки (ER)	16	Указывает значение скорости, которое следует использовать источнику для передачи. (Устанавливается коммутатором или приемником)
Текущая скорость ячейки (CCR)	16	Указывает коммутатору текущую скорость передачи источника для расчета нового значения допустимой скорости (ER)
Минимальная скорость ячейки (MCR)	16	Указывает на минимальную скорость работы источника
Циклический код (CRC)	10	Вычисляет значение контрольной суммы RM ячейки

Проблему совместимости алгоритмов решает метод виртуальных отправителей и получателей (*Virtual Source /Virtual Destination - VS/VD*) [22], при реализации которого сеть разбивается на сегменты, а находящийся на границе сегментов коммутатор АТМ выступает одновременно в качестве конца первого сегмента и начала следующего, т.е. играет роль виртуального источника и виртуального приемника информации. При этом в одном сегменте сети может использоваться, например, кредитная схема управления потоком, а в другом – скоростная. Механизм виртуальных отправителей и получателей идентичен схеме ER, за исключением следующих отличий: каждый виртуальный

получатель может преобразовывать прямые служебные ячейки в обратные и каждый виртуальный отправитель должен генерировать прямые служебные ячейки и реагировать на обратные. Этот механизм реализуется на промежуточных коммутаторах сети. Преимущество этого заключается в том, что сокращается время реакции алгоритма управления, так как уменьшается размер петли обратной связи, а служба ABR освобождается от необходимости регулировать обмен данными в масштабе всей сети одновременно. В заключение отметим, что во многих реализациях скоростных схем службе ABR потребуется несколько циклов подсчета значения скорости ER, прежде чем источник выйдет на максимальную скорость передачи и задействует всю доступную полосу пропускания. В кредитных схемах управления потоком за счет расширения кредита скорость передачи может увеличиться до максимальной практически мгновенно.

Управление потоком службой UBR. Для улучшения функциональных характеристик службы UBR в ее модифицированную версию UBR+ был введен ряд механизмов управления трафиком, в том числе механизмы раннего сброса пакета EPD и сброса остатков пакета - PPD. Кроме того, в настоящее время в службе UBR+ широко используется также механизм своевременного обнаружения перегрузок (*Random Early Detection* - RED). Работа алгоритма RED, а также его достоинства и недостатки изложены в [22, 41]. Алгоритм RED использует скрытую обратную связь для уведомления о перегрузках путем выборочного уничтожения части поступающих ячеек. Их число и частота уничтожения определяются параметром, называемым вероятностью уничтожения (P_a). Значение P_a пересчитывается каждый раз в соответствии с текущим состоянием ресурсов коммутатора, т. е. фактически определяется длиной очереди на обслуживание трафика в коммутаторе. Пересчет вероятности P_a и уничтожение ячеек продолжается до тех пор, пока значение средней длины очереди не опустится ниже минимального порога. Основным достоинством алгоритма RED является возможность подсчета для каждого виртуального соединения вероятности уничтожения ячеек в зависимости от размера пакетов (AAL3/4 или AAL5 PDU), передаваемых по данному виртуальному соединению. Чем больше пакеты, тем выше вероятность их уничтожения. Это позволяет справедливо распределить полосу пропускания между потоками данных различных пользователей, чего нельзя достичь, используя алгоритмы EPD и PPD отдельно, а не совместно с RED [22, 41].

Таким образом, превентивное управление потоком, применяемое службами CBR, VBRrt и VBRnrt, поддерживается посредством контроля сетевого и межсетевого доступа, резервирования соответствующей полосы пропускания, контроля параметров пользовательско-

го и сетевого трафика (policing), планированием трафика (для службы CBR и VBRrt), а также минимизацией размера буферов. В тоже время адаптивное управление потоком данных, которое обычно реализуется службами VBRnrt, ABR и UBR, связано в основном с управлением буферного пространства, применением различных механизмов сброса ячеек (CLP, TDP, RED и др.) и механизмов обратной связи (для службы ABR).

В целом, программа управления сетью на уровне АТМ предоставляет единый высокоскоростной сервис коммутации для всех типов потоков информации, которые коммутируются и уплотняются общими сетевыми устройствами и только очереди ячеек перед ними могут обрабатываться различно. Стратегия приоритетного обслуживания трафика основана на категориях обслуживания каждого виртуального соединения. Функциональная простота программы управления сетью основана на высоком качестве цифровых трактов связи и реализации на физическом уровне упрощенных процедур обработки протокольных блоков систем передачи, что в сочетании с фиксированной длиной ячейки позволяет значительно уменьшить сквозную задержку ячеек в сети и упростить процессы обработки ячеек в узлах коммутации на уровне АТМ.

Таблица 4

Атрибуты	Категории обслуживания АТМ				
	CBR	VBRrt	VBRnrt	ABR	UBR
Гарантируется	полоса пропускания и задержка	SCR, CDV	SCR, средняя CTD	CLR (not zero)	ничего
Предсказание передачи нагрузки	100%	менее 100%		нет	нет
САС/приоритетное резервирование	да	да, некоторое		да, для MCR	нет
UPC/policing	да	да		не обязательно	не обязательно
Управление потоком	нет	возможно		да	нет
Управление перегрузкой	нет	да		да	да
PCR и CDVT	да, (250 мкс)	да, (250 мкс)		да	не обязательно
SCR и BT(MBS)	не указан	да		не указан	не указан
MCR	не указан	не указан		не обязательно	не указан

CDV/CTD	CDV, CTD максимум (150 мкс)	CDV, CTD максимум (150 мкс)	средняя CTD	нет	нет
CLR (CLP=0)	да, $1,7 \times 10^{-10}$	да, (10^{-7})		да	нет
CLR (CLP=1)	да или нет	да или нет		да	нет
Управление обрат- ной связью	не обязат. EFCI	не обязат. EFCI		да, EFCI, RR, ER	не обя- зат. EFCI

В табл. 4 приведены основные атрибуты категорий обслуживания АТМ [22].

2.6.4. Программная структура физического уровня АТМ

Подуровень конвергенции физического уровня АТМ

Функции подуровня конвергенции физического уровня АТМ реализует **программа управления информационным трактом**, которая обеспечивает:

1. генерацию заголовка информационного тракта и формирование кадра (контейнера) системы передачи и его восстановление на приеме;
2. структурирование кадра (контейнера) и потока ячеек;
3. формирование поля контроля ошибок в заголовке ячейки АТМ и контроль ошибок на приеме;
4. согласование скорости ячеек.

Адаптация к системам передачи. На подуровне ТС поток ячеек может быть адаптирован (структурирован в виде кадров соответствующего формата) для размещения в различных цикловых или нецикловых системах передачи. В системах передачи синхронной (*Synchronous Digital Hierarchy - SDH*) [58-60] и/или плездохронной (*Plesiochronous Digital Hierarchy - PDH*) [24, 26, 31] цифровых иерархий ячейки группируются во временной цикл (кадр), в который также включается управляющая информация. В нецикловых системах передачи [24, 26, 30], которые предполагают передачу данных как неструктурированного потока ячеек, ячейки конвертируются побитно в соответствующие электрические или оптические сигналы в зависимости от среды передачи.

Рекомендацией ИТУ-Т I.311 определено, что SDH является основой физического уровня Ш-ЦСИС на технологии АТМ, поэтому в дальнейшем описании программной структуры физического уровня АТМ мы будем рассматривать, в основном, синхронную цифровую иерархию.

Выделение ячеек. Подуровень ТС на приеме отвечает за идентификацию границ или определения начала ячеек в битовом потоке. Указанная функция в сетях АТМ реализуется различными способами в зависимости от применяемого метода адаптации к системам передачи данных. При неструктурированной передаче ячеек функция выделения границ ячеек может быть реализована, например, на использовании поля контроля защиты заголовка НЕС (*Header Error Check*). В этом случае на приеме проверяется каждая группа данных из пяти октетов. Выявление определенного числа корректных значений НЕС идентифицируется с определением границы ячеек. При структурированной передаче данных границы ячейки могут определяться по фиксированной позиции кадра, в которой размещены ячейки, либо по указателю кадра, который идентифицирует границы ячейки. Блок данных также может обрамляться флагами-разделителями с уникальной битовой последовательностью [24, 26, 30].

Адаптация скорости передачи. Подуровень РМ обрабатывает непрерывный поток данных. Обычно, скорость передачи мультиплексированных ячеек не совпадает со скоростью передачи бит в физической среде, поэтому на подуровне ТС вводится процедура адаптации скорости, называемая стаффингом или выравниванием. Для формирования непрерывного потока ячеек (например, в синхронных циклах SDH [58-60]) подуровень ТС при отсутствии ячеек для передачи вставляет в исходящий битовый поток пустые ячейки. На приеме «пустые» ячейки отбрасываются. Каждый октет информационного поля «пустой» ячейки заполняется комбинацией 01101010.

1-й октет	2-й октет	3-й октет	4-й октет	5-й октет
00000000	00000000	00000000	00000001	Контроль ошибок заголовка

Рис.9. Структура заголовка «пустой» ячейки

Поток ячеек при передаче может также оставаться и прерывистым. Однако, так как для пульсирующего трафика интервалы между ячейками могут быть любой длины, то в этом случае для адаптации скорости передачи данных между ячейками вводятся знаки стаффинга (символы «свободно»), например, символы ЛК в интерфейсном протоколе физического уровня (*Multimode Fiber Interface - MFI*) в технологии FDDI [30]. Структура заголовка «пустых» ячеек приведена на рис. 9. Комбинация двух описанных методов используется, например, при передаче ячеек по каналам PDH [24, 26, 30]. В этом случае постоянное число ячеек группируется в блоки, которые могут содержать пустые ячейки. Интервалы между блоками могут быть заполнены перемен-

ным числом байтов стаффинга для гарантии строгой последовательности блоков через 125 мкс.

Защита ячейки. Подуровень ТС в режиме установленного соединения формирует поле контроля ошибок НЕС в заголовке ячейки на каждом коммутаторе АТМ при передаче и осуществляет проверку значения НЕС на приеме с целью обнаружения и коррекции ошибок в заголовке. Механизм контроля ошибок на приеме позволяет исправить обнаруженную однобитовую ошибку. Если ошибку не удастся исправить, то ячейка не переспрашивается, а уничтожается. Кроме генерации и проверки НЕС, на подуровне ТС может осуществляться скремблирование ячейки. Процесс скремблирования заключается в сложении элементов последовательности данных *по модулю 2* с псевдослучайной последовательностью, образованной полиномиальным генератором. Представление последовательности бит в виде псевдослучайных чисел (рандомизация) гарантирует отсутствие в потоке данных ячеек с одинаковыми значениями, приводящих к потере синхронизации на подуровне РМ, и уменьшает вероятность приема ошибочных значений НЕС при идентификации границ ячеек.

Программа управления информационным трактом формирует протокольные блоки подуровня конвергенции с системой передачи (*Transmission Convergence Sublayer*- ТС) или слоя трактов. В системах передачи синхронной цифровой иерархии SDH протокольными блоками слоя трактов передачи являются виртуальные контейнеры (*Virtual Container*- VC) байт-ориентированной структуры, в которых размещаются ячейки для переноса в тракте передачи. Операции с контейнерами в сети выполняются независимо от его содержимого, благодаря чему сеть SDH может транспортировать любые сигналы вне зависимости от строения их циклов, последовательности бит и других особенностей, а также потоки ячеек. Процесс формирования VC и описание его структур, приведены в работах [24, 57]. VC – это блочная циклическая структура с периодом повторения 125 или 500 мкс (в зависимости от видов тракта). Различают VC различного порядка – для различных скоростей передачи, имеющие обозначения VC-11, 12, 2, 3, 4. VC содержит заголовок тракта передачи (*Path Over Head* - POH). Заголовок POH создается (ликвидируется) в пунктах, где формируется (расформируется) VC, и контролирует тракт между этими пунктами, проходя транзитом регенерационные (*Regenerator Section* - RS) и мультиплексные (*Multiplexer Section* - MS) секции. Основное назначение POH – обеспечить целостность связи в тракте от точки формирования виртуального контейнера до точки его разборки. В функции POH входят контроль качества тракта и передача аварийной и эксплуатационной информации. POH тракта высшего порядка содержит также информацию о структуре информационной нагрузки

VC, которая формируется контейнерами (*Container* - C). Для каждого VC имеется свой C (VC-11, 12, 2, 3, 4). VC образуется соединением заголовка тракта и контейнера ($VC = POH + C$). VC вводится в протокольный блок подуровня, зависящего от физической среды или слоя секций – синхронный транспортный модуль систем передачи SDH - с помощью административного блока (*Administrative Unit* -AU), который согласовывает слой трактов высшего порядка со слоем мультиплексных секций. AU включает в себя информационную нагрузку VC-4 (блок AU-4) или VC-3 (блок AU-3) и AU-указатель (*Administrative Unit Pointer*): $AU = AU\text{-указатель} + VC$. Начало цикла нагрузки может перемещаться относительно начала цикла мультиплексной секции и отмечается указателем, место которого фиксировано. Один или несколько AU, занимающих определенные фиксированные позиции, в нагрузке мультиплексных секций, называются «группой административных блоков» (*Administrative Unit Group* - AUG). Группа содержит однородный набор блоков AU-3 или один AU-4. Субблок (*Tributary Unit* - TU) обеспечивает согласование между слоями трактов низшего и высшего порядков и содержит информационную нагрузку (VC-11, 12, 2, 3) и TU-указатель, показывающий отступ начала цикла нагрузки от начала цикла VC высшего порядка: $TU = TU\text{-указатель} + VC$. В соответствии с входящими в состав TU типами VC субблоки обозначаются TU-11, 12, 2, 3. Один или несколько TU, занимающих определенные фиксированные позиции в нагрузке VC высшего порядка, называются «группой субблоков» (*Tributary Unit Group* - TUG). Различают TUG-2 и TUG-3. TUG-2 содержит однородный набор идентичных субблоков TU-11, 12 или один TU-2, а TUG-3 – однородный набор групп субблоков TUG-2 или один TU-3. На рис. 10. показана структура

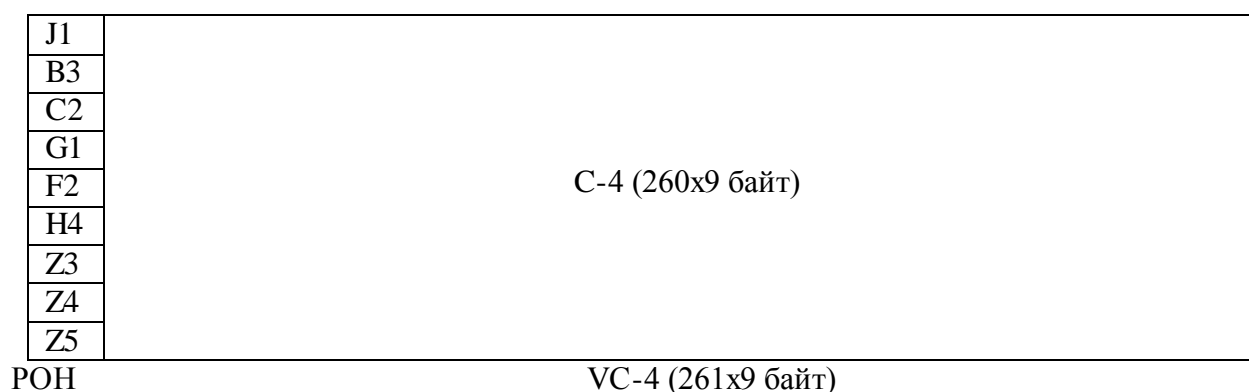


Рис. 10. Структура контейнера C-4 и виртуального контейнера VC-4

наибольшего в SDH контейнера C-4, а также VC-4. Контейнер C-4 содержит 9 рядов по 260 байт в каждом ряду, т.е. объем контейнера C-4 составляет 2340 байт. Виртуальный контейнер VC-4 содержит допол-

нительно заголовок РОН, т.е. первый столбец цикла. Первые 6 байт имеют следующее назначение [58]:

- *байт I1* используется в рамках формируемого в национальной сети 16-байтного кадра для передачи маркера начала фрейма (байт 1) и идентификатора точки маршрутного доступа (байты 2-16), представленного строкой ASCII-символов в соответствующем формате и используемого для того, чтобы принимающий терминал получал постоянное подтверждение о связи с определенным передатчиком (в международных сетях используется 64-байтная строка, в которую и преобразуется 16-байтная «национальная» строка);

- *байт B3* – ВР-8 код, контролирующей ошибки четности в предыдущем контейнере;

- *байт C2* – указатель типа полезной нагрузки контейнера, например, TUG, C-3, фиксированный TU, ATM, MAN, FDDI и др.;

- *байт G1* – состояние маршрута, дает информацию обратной связи от терминальной к исходной точке формирования маршрута;

- *F2, Z3* – байты, которые могут быть задействованным пользователем данного маршрута для организации канала связи;

- *H4* – обобщенный индикатор положения нагрузки, например, указывает на номер VC-1, 2 в TU-1, 2;

- *Байт Z4* – зарезервирован для возможного развития системы;

- *Байт Z5* – байт оператора сети, зарезервирован для целей администрирования сети.

Подуровень, зависящий от физической среды

Последним элементом программной структуры архитектуры сети АТМ является **программа управления физическим каналом**, которая отвечает за установление соединения с физическим каналом, поддержание и расторжение этого соединения для каждого сеанса связи. Эта программа реализована на подуровне, зависящем от физической среды. Программа управления физическим каналом обеспечивает:

1. *генерацию заголовка физического канала и формирование модуля системы передачи и его восстановление на приеме;*

2. *передачу битового потока в конкретной физической среде;*

3. *синхронизацию между передачей и приемом;*

4. *линейное кодирование и преобразование сигналов.*

Кодирование. На подуровне РМ применяется блочное кодирование для преобразования группы битов в другую битовую последовательность с целью структурирования физического сигнала в среде передачи и линейное помехоустойчивое кодирование с целью представления различных битовых комбинаций потока данных в виде электрических или оптических сигналов. Наиболее распространенные схемы

кодирования сигнала в линии описаны, например, в [26].

Синхронизация. Физическая передача сигналов по сети АТМ осуществляется покадровым методом, который основан на мультиплексировании с разделением по времени (*Time Division Multiplexing - TDM*). В этом случае кадр определенного формата передается по линии с интервалом 125 мкс. Скорость обмена регулируется размером кадра. Для правильного восстановления физического сигнала на приеме скорость его обработки в приемнике должна быть синхронизирована со скоростью работы передатчика. Синхронизация таймеров источника и передатчика производится следующим образом [26]. Перед началом передачи кадров источник синхронизирует свой таймер с эталонным внешним источником и использует его для генерации определенного временного интервала передачи кадра. Смежный коммутатор, получив кадр, определяет значение временного интервала и использует его для настройки собственного таймера. Аналогично настраивают свои таймеры все коммутаторы, через которые проходит виртуальное соединение в сети АТМ. После синхронизации таймеров приемник может управлять скоростью обработки сигнала. Для периодического восстановления синхронизации на приемной стороне, границы групп бит в передаваемом сигнале представляются изменением состояния (переходом). Битовый поток на подуровне РМ кодируется так, чтобы сигнал, представляющий данные, содержал достаточное число переходов, обеспечивающих синхронизацию.

Передача сигнала в физической среде. Подуровень РМ реализует передачу и прием электрических или оптических сигналов в физической среде в соответствии с методами передачи сигналов и соответствующими стандартами интерфейса подуровня РМ, определяющими кабельные системы и скорости работы на каждом типе кабеля.

Программа управления физическим каналом формирует протокольный блок подуровня, зависящего от физической среды (*Physical Medium Dependent - PMD*). В системе передачи синхронной цифровой иерархии SDH - это протокольный блок слоя секций, который называется **синхронным транспортным модулем** (*Synchronous Transport Module - STM*), который имеет кадровую структуру с периодом повторения 125 мкс. Секционный заголовок (*Section Overhead - SON*) STM содержит управляющую информацию, обеспечивающую передачу STM в цифровом тракте, в т.ч. функции OAM. Секционный заголовок базового модуля STM-1 состоит из двух блоков: заголовка регенераторной секции RSON ($3 \times 9 = 27$ байт) и заголовка мультиплексорной секции MSON ($5 \times 9 = 45$ байт). STM-N образуется побайтным объединением $N \times$ AUG и секционного заголовка SON: $STM-N = SON + N \times AUG$. RSON выполняет функции цикловой синхронизации, контроля ошибок в регенераторной секции, указания порядка синхронного модуля,

а также создает каналы передачи данных и служебной связи. MSON выполняет функции контроля ошибок в мультиплексорной секции и создает каналы управления системой автоматического переключения на резерв, передачи данных и служебной связи. RSON формируется и передается между регенераторами, а MSON – между пунктами, в которых формируется и расформируется STM, проходя регенераторы транзитом. Служебная нагрузка полей регенераторной и мультиплексорной секций заголовка кадра систем передачи SDH гарантирует битовую прозрачность и кадровую синхронизацию между приемником и передатчиком в цифровом тракте. На рис. 11 показана структура циклов STM-1 и STM-N. В настоящее время в Ш-ЦСИС используются STM-1 и STM-4. Приведем описание структуры циклов, приведенное в [57]. В SDH принято изображение циклов в виде таблиц из n рядов и m столбцов, передаваемых за время T цикла. Большинство таких таблиц содержит по девять рядов. Каждый элемент таблицы представляет собой 1 байт. Первый байт цикла расположен в левом верхнем углу таблицы, последний – в правом нижнем. Первые $9 \times N$ столбцов цикла STM-N несут служебные сигналы.

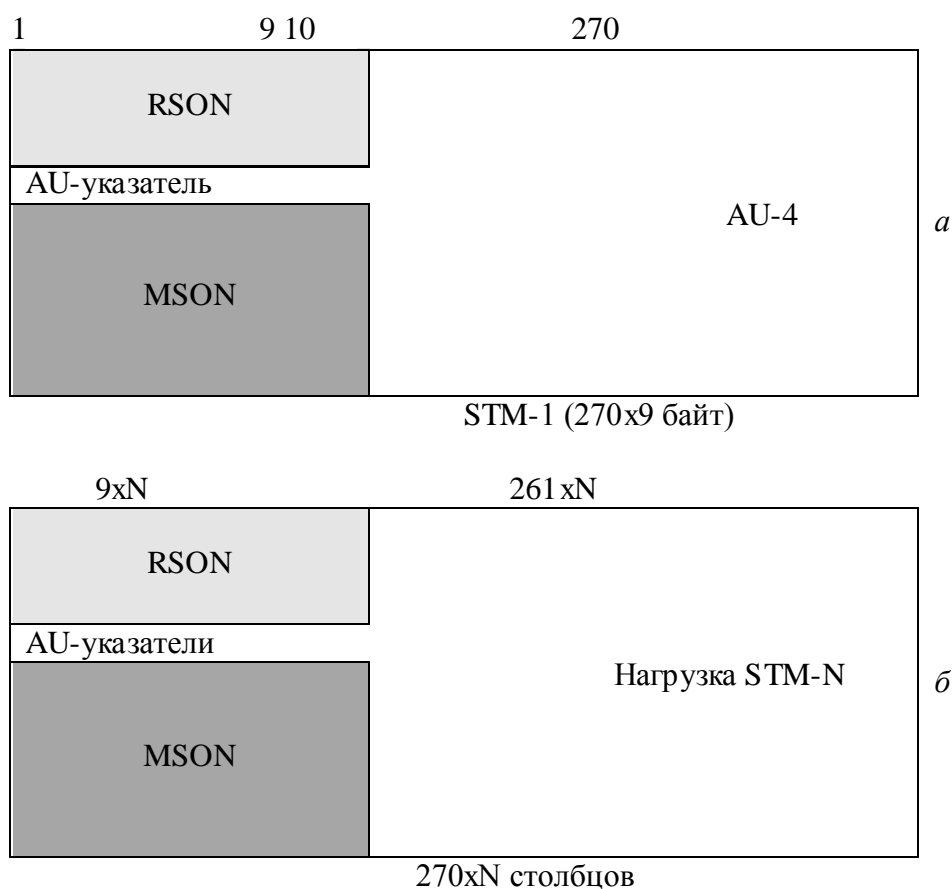


Рис.11. Структура STM-1 и STM-N:
а - структура STM-1; б - структура STM-N

Ряды 1-3 занимает заголовок RSON регенерационной секции, а ряды 5-9 – заголовок MSON мультиплексорной секции. Четвертый ряд отведен для AU-указателей. Остальные 261xN столбцов цикла предназначены для информационной нагрузки.

A1	A1	A1	A2	A2	A2	C1	X*	X*
B1	#	#	E1	#		F1	X	X
D1	#	#	D2	#		D3		
AU - указатель								
B2	B2	B2	K1			K2		
D4			D5			D6		
D7			D8			D9		
D10			D11			D12		
Z1	Z1	Z1	Z2	Z2	Z2	E2	X	X

X – байты, зарезервированные для локального (национального) использования

* - нешифруемые байты

- байты, зависящие от среды передачи.

Рис.12. Структура заголовка SON цикла STM-1

Структура заголовка SON цикла STM-1 приведена на рис. 12. На рис.12 используются следующие обозначения:

- три байта A1 и три байта A2 являются идентификаторами наличия цикла STM-1 в цикле STM-N ($A1=11110110$, $A2=00101000$);
- байт B1 и три байта B2 формируют две кодовые последовательности, используемые для проверки на четность с целью обнаружения ошибок в предыдущем цикле: B1P-8 формирует 8-битную последовательность для размещения в B1 и B1P-24 - 24 – битную последовательность для размещения в трех B2;
- байт C1 определяет значение глубины интерливинга в схеме мультиплексирования STM-N;
- байты D1- D12 формируют служебный канал передачи данных – DCC (Data Communication Channel): D1- D3 формируют DCC канал регенераторной секции (192 Кбит/с), D4- D12 – DCC канал мультиплексной секции (576 Кбит/с);
- байты E1,E2 могут быть использованы для создания служебных каналов голосовой связи: E1 для регенераторной секции (64 Кбит/с), E2 для мультиплексной секции (64 Кбит/с);
- байт F1 зарезервирован для создания канала передачи данных/голосовой связи для нужд пользователя;
- байты K1, K2 используются для сигнализации и управления автоматическим переключением на исправный канал при работе в защищенном режиме;

- *шесть байтов Z1 и Z2 являются резервными за исключением бит 5-8 байта Z1, используемых для сообщений о статусе синхронизации;*
- *шесть байт, помеченных знаком #, могут быть использованы как поля, определяемые средой передачи.*

*Байты, помеченные *, не подвергаются, в отличие от остальных, процедуре скремблирования заголовка. Все непомеченные байты зарезервированы для последующей международной стандартизации.*

Многослойная программная структура АТМ-сети позволяет получить относительную независимость программ друг от друга, а установление четких правил взаимодействия программ позволяет совершенствовать любой слой программного обеспечения, не изменяя другие. Правила взаимодействия элементов программной структуры объединяются в протоколы каждого уровня, которые являются стандартными для всей сети. Логическая и программная структура сети АТМ показана на рис.13.

Программа управления передачей	Подуровень конвергенции уровня адаптации АТМ
Программа управления сегментированием и сборкой	Подуровень сегментации и сборки уровня адаптации АТМ
Программа управления сетью	Уровень АТМ
Программа управления информационным трактом	Подуровень конвергенции физического уровня АТМ
Программа управления физическим каналом	Подуровень, зависящий от физической среды физического уровня АТМ

Рис.13. Логическая и программная структура сети АТМ

Многослойная программная структура АТМ -сети позволяет получить относительную независимость программ друг от друга, а установление четких правил взаимодействия программ позволяет совершенствовать любой слой программного обеспечения, не изменяя другие. Правила взаимодействия элементов программной структуры объединяются в протоколы каждого уровня, которые являются стандартными для всей сети. Логическая и программная структура сети АТМ показана на рис. 13.

2.7. Физическая структура Ш-ЦСИС

Физическая структура сети АТМ базируется на конкретных технических устройствах и позволяет оптимально реализовать в них отдельные логические функции или их совокупность.

На рис. 14 показана эталонная модель физической структуры Ш-

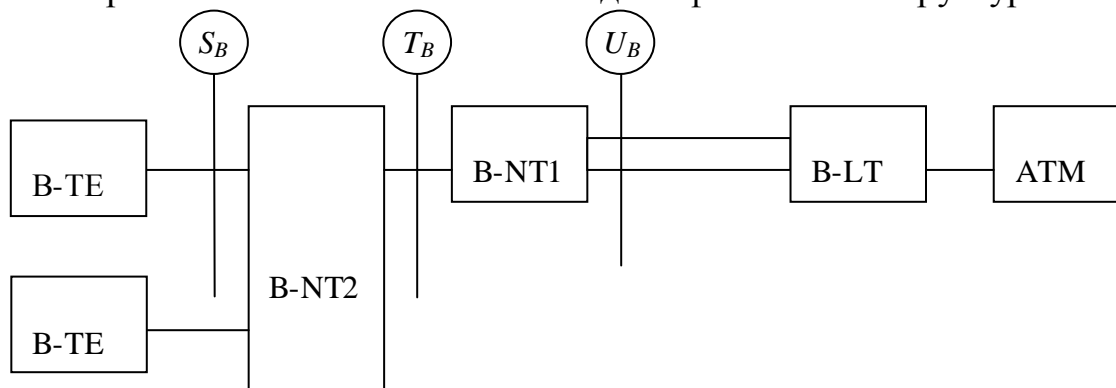


Рис. 14. Эталонная модель физической структуры Ш-ЦСИС

ЦСИС на технологии АТМ. Ш-ЦСИС (аналогично узкополосной ЦСИС) подразделяется на распределительную абонентскую сеть (сеть доступа или «последняя миля») между оконечной системой и пограничным коммутатором доступа и магистральную сеть, которая соединяет коммутаторы АТМ между собой. На «последней миле» передача данных может быть организована либо непосредственно с использованием АТМ технологии (без «посреднических» протоколов), либо с инкапсуляцией различных протокольных блоков over АТМ: IP over АТМ, PPP (*Point-to-Point Protocol*) over АТМ, Ethernet over АТМ и др. Архитектура сети доступа и методы инкапсуляции трафика канального и более высоких уровней модели OSI в ячейки АТМ описаны, например, в [24, 45].

Абонентское оборудование представляет собой широкополосное оконечное оборудование (*Broadband Terminal Equipment* - В-ТЕ), которое объединяет группу терминалов, подключаемых или непосредственно к сети, или через широкополосное сетевое окончание 2 (цифровое абонентское окончание) - *Broadband Network Termination* (В-NT2). В роли оконечного оборудования могут быть представлены компьютер пользователя с платой сетевого интерфейса АТМ и с соответствующим коммуникационным программным обеспечением или специальное сетевое устройство, к которому через обычные адаптеры локальной сети подключаются одна или несколько вычислительных систем [26]. Подключения к В-NT2 терминалов, которые не совместимы с интерфейсом в эталонной точке S_B , производятся через широкополосный оконечный адаптер (*Broadband Terminal Adaptor* – В-ТА).

Цифровое абонентское окончание В-NT2 представляет собой коммутационный блок, в котором реализованы основные функции абонентского оборудования [24, 31]:

- *административное управление интерфейсами в эталонных точках S_B и T_B* ;
- *административное управление общими ресурсами, например, локальными сетями*;
- *административное управление сигнализацией между абонентом и коммутатором доступа*;
- *коммутация и мультиплексирование ячеек АТМ*;
- *адаптация информационных потоков к формату ячеек АТМ*;
- *поддержка внутренних соединений и фильтрация входящих/исходящих соединений абонентского оборудования*.

Примерами оборудования В-NT2 могут служить: широкополосная учрежденческая АТС, мультиплексор потока данных и связной контроллер.

Последним элементом сети доступа, который соединяется с абонентским оборудованием, является широкополосное сетевое окончание 1 (*Broadband Network Termination* - В-NT1). Линейное оконечное оборудование В-NT1 соединяет абонентское оборудование с сетью с помощью интерфейса в точке T_B . Оборудование В-NT1 организует широкополосный доступ по оптической линии связи к пограничному коммутатору АТМ через широкополосное линейное окончание (*Broadband Line Termination* - В-LT).

Оконечное оборудование В-ТЕ подключается к широкополосному абонентскому доступу либо в эталонной точке S_B , которая определяет интерфейс между В-ТЕ и широкополосным абонентским цифровым окончанием В-NT2, либо в эталонной точке T_B , которая определяет интерфейс «пользователь - сеть». Существуют два режима подключения оборудования В-ТЕ: режим индивидуального подключения В-ТЕ к своему порту коммутационного устройства («точка - точка») и режим коллективного подключения В-ТЕ к коммутационному устройству на базе моноканала с множественным доступом («точка - многоточка») [24, 31]. Абонентская распределительная структура может иметь топологию «шина», «звезда» или «кольцо». Сеть доступа может быть также реализована на технологии цифровых абонентских линий xDSL, в частности, на технологии (*Asymmetric Digital Subscriber Line* – ADSL) [61]. Отметим, что интерфейс в эталонной точке S_B не зависит от способа реализации сети доступа.

Эталонная точка T_B определяет интерфейс «пользователь - сеть», который имеет следующие особенности [31]:

- *интерфейс может быть электрическим (коаксиальный ка-*

бель) или оптическим (одномодовое волокно);

- реальная скорость передачи информации составляет 155,520 или 622,080 Мбит/с;

- структура интерфейса образует непрерывный поток ячеек АТМ или синхронных кадров G.709;

- сигналы кодируются путем инверсии передаваемых посылок (Code Mark Inversion - CMI) для электрического интерфейса или кодирования без возврата к нулю (Non Return to Zero - NRZ) для оптического интерфейса [30].

Таким образом, в эталонной точке T_B может быть реализована определенная структура интерфейса (синхронные кадры или непрерывный поток ячеек) и технология передачи сигналов (электрическая или оптическая). Отметим, что при подключении только одного абонентского устройства в эталонной точке T_B (режим «точка - точка») для установления виртуального соединения обмен служебными сообщениями между пользователем и коммутатором доступа осуществляется по постоянному виртуальному каналу номер 5 на виртуальном пути P0. При организации совместного использования несколькими абонентскими устройствами цифрового доступа (режим «точка - много точка») обмен служебными сообщениями осуществляется по виртуальному метаканалу C1 на виртуальном пути P0. Кроме того, дополнительно используется широкополосный виртуальный канал сигнализации (Broadcast Signalling Virtual Channel - BSVC) для доставки входящего вызова ко всем абонентским устройствам многоточечной конфигурации (виртуальный канал C2 на виртуальном пути P0).

Эталонная точка U_B в настоящее время стандартом АТМ не определена.

Широкополосные коммутаторы АТМ характеризуются следующими основными параметрами:

- суммарная скорость передачи составляет десятки гигабит в секунду, что обеспечивает сверхвысокую скорость доступа;

- скорость коммутации составляет порядка нескольких миллионов ячеек в секунду;

- задержка в коммутаторе не превышает 1 мс;

- допустимое значение коэффициента потерь ячеек для отдельных потоков данных не должно превышать 10^{-10} .

Кроме того, коммутатор должен гарантировать порядок следования ячеек, принадлежащих одному и тому же виртуальному соединению, что налагает жесткие ограничения на схему коммутатора и способ организации очередей в коммутаторе. Различают коммутаторы АТМ с разделяемой памятью, с общей средой передачи, с полносвязной топологией и с пространственным разделением (с единственным

или множественным доступом между входным и выходным портом) [51].

Заметим, что, несмотря на то, что протокол передачи является синхронным, коммутатор АТМ функционирует в синхронном режиме: за время одного цикла с каждого входа считывается по одной ячейке, которые ретранслируются через коммутационное поле коммутатора и подаются на требуемый выход. При этом ячейка обрабатывается коммутатором при условии, что она полностью поступила на вход к началу очередного цикла, иначе она ждет начала следующего цикла. К основным характеристикам коммутационного поля относятся [50]:

- *производительность (отношение суммарной скорости выходящего потока к суммарной скорости входящего);*
- *коэффициент использования (отношение средней скорости входящего потока к максимально возможной скорости выходящего);*
- *вероятность потерь ячеек;*
- *задержки передачи ячеек;*
- *длины очередей;*
- *сложность реализации.*

Коммутаторы могут производить и конвейерную обработку. В этом случае поступившая на вход ячейка обрабатывается за несколько циклов, прежде чем она появится на выходе. Длительность одного цикла зависит от скорости передачи в ЛЦТ. Так например, при скорости поступления ячеек 155 Мбит/с, длительность цикла составляет 2,7 мкс, а при скорости 622 Мбит/с – 700 нс [62].

Помимо осуществления маршрутизации и ретрансляции ячеек коммутатор АТМ реализует также процедуры управления соединениями и администрирования. В общем случае структура коммутатора АТМ содержит входные модули (*Input Module* - ИМ), выходные модули (*Output Module* - ОМ), поле коммутации ячеек, а также модули контроля за установлением соединений (*Connection Admission Control* - САС) и управления коммутатором (*Switch Management* - SM). Архитектура коммутаторов АТМ и краткое описание назначения модулей приводятся в [50]:

- *Входные модули* осуществляют преобразование и восстановление сигнала; обработку заголовка системы передачи; структурирование ячеек и коррекцию скоростей их передачи; проверку заголовка ячейки на наличие ошибок с помощью поля НЕС; подтверждение правильности значений идентификаторов VPI/VCI и их трансляцию; определение выходного порта; направление сигнальных ячеек и ячеек ОАМ соответственно в модуль САС и в модуль управления коммутатором; реализацию процедуры UPC/UNC для каждой пары соединений VPI/VCI; формирование дескриптора внутренней маршрутизации через коммутационное поле; мониторинг информации, предназначенной

для использования внутри коммутатора.

- *Выходные модули* подготавливают потоки ячеек для физической передачи, а именно: производят обработку и удаление дескриптора внутренней маршрутизации; генерируют поле НЕС; транслируют при необходимости значения VPI/VCI; включают ячейки из модулей САС и управления коммутатором в исходящие потоки ячеек; корректируют скорости передачи ячеек; упаковывают ячейки в поле полезной нагрузки PDU подуровня конвергенции физического уровня и генерируют поля с соответствующей служебной информацией; преобразуют цифровой поток в электрический или оптический сигнал.

- *Модуль САС* устанавливает, модифицирует и разрывает соединения виртуальных путей и каналов. Модуль САС отвечает за: сигнальные протоколы верхних уровней; сигнальные функции AAL, необходимые для интерпретации или генерации сигнальных ячеек; поддержание интерфейсов с сетью сигнализации; согласование с пользователем трафик -контрактов на обслуживание при запросах на установление новых и/или изменение существующих соединений VPC/VCC; распределение ресурсов коммутатора при организации соединений VPC/VCC (включая выбор маршрутов); принятие решения (в ответ на запрос) о возможности установления соединений VPC/VCC, а также генерацию параметров процедур UPC/UNC. Функции САС могут быть реализованы в централизованном или распределенном исполнении.

- *Модуль управления коммутатором* осуществляет: контроль за перегрузками и специальными операциями по управлению буферами (распределение ячеек по буферам, сброс ячеек и др.); формирование команды механизму буферного управления при перегрузках; корректировку стратегии распределения или отбрасывания ячеек; обработку отказов и протоколирование учетной информации, относящейся к управлению; фиксацию показателей использования ресурсов коммутатора; управление информационной базой текущих процедур администрирования и интерфейсом UNI; управление конфигурацией компонентов коммутатора и защиту его базы данных.

- *Поле коммутации ячеек* обеспечивает ретрансляцию ячеек между функциональными блоками коммутатора. В его функции входят: концентрация и мультиплексирование трафика, маршрутизация и буферизация ячеек; повышение отказоустойчивости коммутатора; многоадресная и широковещательная передача; выполнение специальных операций по управлению буферами (распределение ячеек по буферам, отказ от них и др.) согласно уровню приоритета; мониторинг перегрузки и активизация индикатора перегрузки в прямом направлении EFCSI.

В [51] описаны принципы проектирования коммутаторов АТМ. В

коммутаторах АТМ используются различные коммутационные структуры с распределенной архитектурой [24, 26, 31, 50, 63]. В соответствии с архитектурой различают коммутаторы АТМ, с общими (разделяемыми) ресурсами и коммутаторы с пространственным разделением. В коммутационных устройствах с общими ресурсами все входные потоки мультиплексируются для использования единого общего ресурса – коллективной памяти или общей среды передачи между входными и выходными портами коммутатора. В коммутаторах АТМ с коллективной памятью общее запоминающее устройство доступно для записи всем входным адаптерам, а для чтения – всем выходным адаптерам. В качестве общей среды высокоскоростной передачи может выступать общая шина с временным разделением или кольцо. Каждый выходной канал подсоединяется к шине через интерфейс, включающий в себя адресный фильтр и выходной буфер. В соответствующий выходной буфер ячейка записывается после ее идентификации адресным фильтром. Таким образом, общий поток демультиплексируется на отдельные потоки по одному на каждый выход. Коммутационные устройства с пространственным разделением характеризуются одновременным установлением нескольких путей между входными и выходными портами. Управление коммутатором может быть централизованным и распределенным. Однако в коммутационных устройствах указанного типа возможны внутренние блокировки соединений, что ограничивает пропускную способность коммутаторов и является одной из проблем их проектирования при условии допустимой величины вероятности потерь ячеек. Примеры коммутаторов с пространственным разделением и способы решения проблемы внутренней блокировки приведены в [50]. Таким образом, физическая структура Ш-ЦСИС-АТМ базируется на конкретных технических устройствах, в которых реализованы логические функции сети или их совокупность, например, функции уровня адаптации ААL реализуется в оконечном оборудовании В-ТЕ или цифровом абонентском оконечании В-NT2, а также в сетевых коммутационных устройствах для обеспечения интерфейса с плоскостью управления; функции уровня АТМ реализованы в сетевых коммутаторах и оборудовании В-NT2 или В-ТЕ, а функции физического уровня АТМ сосредоточены в линейном оконечном оборудовании В-NT1 и В-LT, а также коммутаторах АТМ.

В заключение еще раз отметим, что стандарт АТМ не вводит свои спецификации на реализацию физического уровня, т.е. в качестве физического уровня в распределительной и магистральной сетях Ш-ЦСИС на технологии АТМ может быть использована любая цифровая система передачи, обеспечивающая формирование и передачу либо непрерывного потока ячеек, либо потоков синхронных или плезиохронных кадров (контейнеров).

ЛИТЕРАТУРА

1. Нейман В.И. Новое поколение систем коммутации // Электросвязь. - 2001. - №1. С. 21-24.
2. Буренин Н.И, Жигадло В.Э. Телекоммуникационные сети и новые технологии // Электроника: Наука. Технология. Бизнес. - 1999. - №1. - С.26-29.
3. Лясковский Ю.К. Создание высокоскоростных территориальных систем связи, базирующихся на технологии АТМ // Корпоративные территориальные сети связи / Под ред. М.Б. Купермана; Информсвязь. - М.: АРТ-БИЗНЕС-ЦЕНТР, 1997. - Вып.3. - С.61-65.
4. Воробьев С.П., Шибанов В.С. Сетевые технологии в отечественных разработках // Тез. докл. Часть 1. VII Санкт-Петербургская междунар. конф. «Региональная информатика». (5-8 декабря 2000г.). – М., 2000.
5. Кларк Э. АТМ чувствует себя хорошо // LAN : Журнал сетевых решений. – 2000. - №6.
6. Пекорелла Д., Дуган М. АТМ+МРЕG-2= мультимедиа // Сети. - 2000. - №10.
7. Бэрнс К. Интеграция АТМ QoS и мультимедийного стандарта H.323 // Сети. – 2000. - №10.
8. Амосов А.А., Ткачман И.Э., Шерстнев М.Л. Архитектура объединенной цифровой сети связи и основные реализации ее транспортной системы // Техника средств связи. – 1982 - Вып. 4 (6). - С. 3-11.
9. Мошак Н.Н. Разработка методов расчета транспортных систем цифровых сетей связи интегрального обслуживания: Канд. диссертация / ЛЭИС. – Л., 1984.
10. Голд Б. Цифровые методы передачи речи // ТИИЭР. – 1977. - Т.65. - №12. - С. 5-13.
11. Grubber J. Delay Related Issues in Integration Voice and Data Networks: a review and some experimental work // In Proc. 6th Data Commun. Symp., Pacific Grove, CA, Nov/ 27-29. – 1979. - P. 166-180.
12. Forgie J.W. Speech communications in packet-switched networks // M.I.I. Lincoln Lab., Lexington, MA (91th A.S.A., Mtg.). - Washington, D.C. - 1976. - Apr.
13. Forgie J.W. Speech transmission in packet-switched store-and-forward networks // AFIDC. - V.44. - Part 1. - Anaheim, CA. – 1975. – May. - P. 137-142.
14. Huggins A.W.F. Effect of lost packets on speech intelligibility // NCC. - Note 78. - Bband N. - Cambrige, MA. – 1976. - Feb. 24.
15. Tanaku H. etall., Design of a packet voice transmission system // In Nat. Telecommunication Conference. Rec. - V.1. - Washington, D.C. – 1979. Dec. - P. 13.1.1-13.1.5.
16. Forgie J.W., Network speech: System implications of packetired speech // ANNU. Rep. ESD-TR-77-178 to the Defense Commun. Agency. Prepared by M.I.I. Lincoln Lab., Lexington, MA. - 1976. - Sept.
17. Жданов А.Г., Рассказов Д.А., Смирнов Д.А., Шипилов М.М. Передача речи по сетям с коммутацией пакетов (IP-телефония)/ Под ред. В.Ю.Бабкова, М.А.Вознюка; СПбГУТ. - СПб, 2001.
18. Передерин В.А., Мацегоров В.Г. Перспективы применения систем цифровой интерполяции речи // Средства связи. – 1978. - № 4. - С. 55-61.
19. Webber S.A., Harris C.J., Flanagan J.L. Use of Variable quality coding and time interval modification in packet transmission of speech // Bell Syst. Tech. J. - 1977 - V.56. - Oct. - P. 1569-1573.

20. Gruber J.G. Delay related issues in integrated voice and data networks // IEEE Trans. Commun. – 1981 - V.COM-29. - N6. - P. 768-800.
21. Агаян А.А., Винник С.П., Родионов А.В. Интегральные цифровые сети с коммутацией пакетов речи и данных // Итоги науки и техники. Сер. Связь. – 1988. - Т. 2. – С. 109-149.
22. Ginsburg D. ATM solution for enternetworking. Addison Wesley Longman. – 1996. - P. 569.
23. Дей Дж.Д., Зиммерман Ю. Эталонная модель взаимосвязи открытых систем (ВОС) // ТИИЭР – 1983. – Т. 71. - № 12. - С. 8-17.
24. Назаров А.Н., Симонов М.В. АТМ: технология высокоскоростных сетей. - М.: ЭКО-ТРЕНДЗ, 1997.
25. Якубайтис Э.А. Информационные сети и системы: Справочная книга. - М.: Финансы и статистика, 1996.
26. Мартин Д., Чапмен К.К., Либен Д. Asynchronous transfer mode. Архитектура и реализация АТМ. - М.: ЛОРИ, 2000 – С. 214.
27. Мошак Н.Н., Чугреев О.С. К вопросу об архитектуре локальных сетей оптической связи. Совершенствование средств автоматической коммутации в ЕАСС. - М.: Радио и связь, 1982. - С.23-24.
28. Сипсер Р. Архитектура связи в распределенных системах. Т.1, 2. - М.: Мир, 1981.
29. Andreoni G., Le Mo G., Palraarzo S. Sublayering in standard network architectures // Comput. Commun. – 1984. - 7.- №1. – P. 17-22.
30. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. - СПб: Питер, 2000.
31. Буассо М., Деманаж М., Мюнье Ж.-М. Введение в технологию АТМ. - М.: Радио и связь, 1997.
32. McDysan D. E., Spohn D. L. ATM: theory and application. McGraw-Hill series on computer communications. – USA, 1995. - P. 595.
33. Амосов А.А., Мошак Н.Н. Анализ транспортных систем интегральных цифровых сетей связи // Техника средств связи. Сер. ТПС. – 1983. - Вып.8. - С. 3-14.
34. Мошак Н.Н. Особенности построения архитектуры широкополосной цифровой сети интегрального обслуживания на технологии АТМ // Тез. докл. Часть 1. VII Санкт-Петербургская междунар. конф. «Региональная информатика – 2000» (5-8 декабря 2000 г.). – СПб, 2000.
35. Мошак Н.Н. Анализ логической структуры транспортной сети АТМ // Электросвязь. – 2001 - №9. - С. 40-44
36. Найтсон К.Г. Стандартизация транспортного уровня // ТИИЭР. – 1983. – Т.71. - № 12. - С. 81-84.
37. Зиберт М., Подвысоцкий Ю.С., Ротанов С.В. Транспортные функции в сети X.25 // Автоматика и вычислительная техника. - Рига: Зинатне, 1981. - № 3. - С. 64-70.
38. Transport service function and services. ISO/TC 97/SC6 – 1979. - № 1738, № 1861.
39. ITU-T. Recommendation Q.2931. B-ISDN User-Network Interfast Layer 3 Protocol. - Geneva, 1993.
40. Морозов В.П. Система сигнализации В-ISDN UNI 3.x: Функционирование и тестирование. Часть 1 // Сети и системы связи. – 1999. - №2 (36). - С. 81-85.
41. Аленов О.М. Алгоритм RED: красный свет для лишних пакетов // Сети. – 1998. - №9.

42. Бессарабский А.Ю. Передача голоса по сетям ATM (часть I) // Сети и системы связи – 1998. - №1 (23). - С. 94-99.
43. Крейс А. Голос в сетях ATM масштаба предприятия //Сети. – 1998. - Авг.-сент. - С. 68-77.
44. Мангес-Бафали Ж., Доминго-Паскуаль Ж. (Испания). Механизм активного сбрасывания ячеек в сетях ATM // Электросвязь. – 1998. - №7. - С. 31-33.
45. Кульгин М. Технологии корпоративных сетей. Энциклопедия – СПб.: Питер, 1999.
46. Хаджинс-Бонафильд К. Гарантированное качество обслуживания в сетях ATM и TSP/IP //Сети и системы связи. – 1996. - №7. - С. 60-62.
47. Коновер Д. Как выбрать коммутатор ATM // Сети и системы связи. – 1998. - №6 (28). С. 56-61.
48. Коновер Д. Выбираем пограничный коммутатор ATM // Сети и системы связи. – 1998. - №10 (32). - С. 108-113
49. Авдудевский А. Анатомия МРОА // LAN : Журнал сетевых решений. – 1998. - №02.
50. Ефимушкин В, Ледовских Т. Коммутация в сетях ATM. Часть 1 // Сети. – 1999. - №12.
51. Ефимушкин В, Ледовских Т. Коммутация в сетях ATM // Сети. – 2000. - №01.
52. Аленов О.М. Управление трафиком ATM // Сети и системы связи. – 1998. - №4 (26). - С. 86-91.
53. Петерсен Л. Категории служб в сетях ATM // Сети и системы связи. – 1996. - №5. - С. 46-48.
54. Аленов О.М. Защита от перегрузок в сетях ATM // Сети и системы связи. – 1998. - №5 (27). - С. 142-146.
55. Аленов О.М. Проверка на дорогах. Альтернативные алгоритмы защиты от перегрузок в сетях ATM // LAN : Журнал сетевых решений. – 1999. – Май. - С.49-53.
56. Кульгин М. Контроль трафика в сетях ATM // LAN : Журнал сетевых решений. – 1998. – Дек. - С. 88-96.
57. Бессарабский А.Ю. Передача голоса по сетям ATM (часть II) // Сети и системы связи. – 1998. - №3 (25). – С. 92-97.
58. Слепов Н.Н. Синхронные цифровые сети SDH. – М.: ЭКО-ТРЕНДЗ, 1997.
59. Ким Л.Т. Синхронная цифровая иерархия // Электросвязь. – 1991. - №3. – С. 2-6.
60. Ким Л.Т. Линейные тракты синхронной цифровой иерархии // Электросвязь. – 1991. - №6. – С. 5-8.
61. Иванов П. ATM over ADSL: Основы технологии и варианты реализации // Сети. – 2000. - №01.
62. Ганьжа Д. Коммутаторы ATM // LAN : Журнал сетевых решений. – 1997. - №04.
63. Ершов В.А., Кузнецов Н.А. Теоретические основы построения цифровой сети с интеграцией служб (ISDN) / Институт проблем передачи информации РАН. – М., 1995.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1. Основные требования, предъявляемые к передаче трафика в Ш-ЦСИС	5
1.1. Особенности передачи речевых сигналов.....	6
1.2. Передача факсимильной информации.....	12
1.3. Передача видеоинформации.....	13
1.4. Особенности передачи данных.....	14
1.5. Особенности передачи мультимедийного трафика.....	14
1.6. Организация обслуживания трафика в сети АТМ.....	15
2. Архитектура Ш-ЦСИС	19
2.1. Предпосылки построения архитектуры Ш-ЦСИС.....	19
2.2. Особенность архитектуры Ш-ЦСИС и их транспортных систем.....	22
2.3. Эталонная модель архитектуры протокола Ш-ЦСИС.....	25
2.4. Логическая структура Ш-ЦСИС	27
2.5. Особенности реализации транспортных соединений в сети АТМ.....	34
2.6. Программная структура Ш-ЦСИС.....	35
2.7. Физическая структура Ш-ЦСИС.....	86
Литература	92

Мошак Николай Николаевич
ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЕТЕЙ АТМ
Часть 1. Архитектура сети АТМ
Учебное пособие

Редактор *И.И.Щенсяк*

ЛР №020475 от 29.04.97
Объем 6,25 печ.л.

Подписано к печати 07.03.02
Тираж 120 экз. Зак.

РИО СПбГУТ. 191186 СПб, наб.р.Мойки,61
Отпечатано ст «Факультет ДВО». 191186 СПб, наб.р.Мойки,61