

# ВРЕМЕННАЯ ПРОЗРАЧНОСТЬ СЕТИ АТМ И СПОСОБЫ ЕЕ ДОСТИЖЕНИЯ



**Богданов В.Н.,  
Вихлянцев П.С.,  
Симонов М.В.,**  
дочернее  
государственное  
унитарное предприятие  
"Научно-технический центр  
"Атлас-Северо-Запад"

*Создание высокоэффективной телекоммуникационной среды является важнейшей национальной проблемой, без решения которой проблематично построение информационного общества и внедрение в сферы производства, бизнеса, науки, образования, медицины, культуры и развлечений новейших информационных технологий. В XXI веке информация становится стратегическим ресурсом, а наибольший экономический и социальный успех сопутствует тем, кто активно использует современные средства информационных и телекоммуникационных технологий.*

*Развитие современных сетевых технологий, успехи в создании волоконно-оптических линий связи и сверхбольших интегральных схем с огромным быстродействием и большой памятью привели к разработке нового способа транспортирования информации, получившего наименование асинхронного режима переноса (Asynchronous Transfer Mode - АТМ).*

*Технология АТМ представляет операторам сетей следующие уникальные возможности [1]:*

- обеспечивает высокую гибкость и адаптируемость сети как к изменению уровня требований пользователей к качеству обслуживания, так и к появлению новых служб, требования которых к семантической и временной прозрачности сети еще не определены;
- повышает эффективность использования сетевых ресурсов;
- снижает затраты на проектирование, строительство и эксплуатацию сети, а также на разработку сетевого оборудования, так как создается и эксплуатируется одна сеть вместо множества вторичных сетей.

*На заседании Государственной комиссии по электросвязи, состоявшемся 29 января 1997 г. и посвященном концептуальным вопросам построения и аппаратурной реализации сети связи на технологии АТМ, принято решение считать создание широкополосной цифровой сети интегрального обслуживания на базе технологии АТМ как составной части сети общего пользования, одним из стратегических направлений развития взаимосвязанной сети связи России.*

*В предыдущей статье [2] основное внимание было уделено семантической прозрачности сети и ее показателям. В данной статье рассматривается временная прозрачность сети, показатели, ее характеризующие и методы ее повышения.*

## 1. Временная прозрачность сети, ее показатели

Под временной прозрачностью сети понимается ее свойство обеспечивать значение времени задержки и джиттера задержки для выполнения требуемого качества обслуживания.

Время задержки (рис. 1) определяется разницей во времени между началом передачи ячейки источником ( $t_0$ ) и окончанием приема этой же ячейки получателем ( $t_1$ ).

Задержка может быть различной для каждой ячейки и представляет собой случайную величину (сл.в.), числовыми характеристиками которой являются среднее время задержки и дисперсия времени задержки (или среднеквадратическое отклонение времени задержки).

Величина времени задержки является очень важной сетевой характеристикой для служб реального масштаба времени, то есть для телефонии, видеотелефонии и организации распределенных вычислений.

В каждом виртуальном соединении время задержки выражается следующим образом:

$$t_{D,ATM} = t_{PD} + \sum_{i=1}^M t_{TDi} + \sum_{j=1}^N (t_{TQj} + t_{DQj}),$$

где  $M$  - количество звеньев в виртуальном соединении;

$N$  - количество узлов коммутации;

$t_{PD}$  - сл.в. времени пакетизации;

$t_{TDi}$  - сл.в. времени распространения сигнала в  $i$ -м звене;

$t_{TQj}$  - сл.в. времени обслуживания ячейки в  $j$ -м коммутационном устройстве при условии отсутствия очереди;

$t_{DQj}$  - сл.в. времени ожидания ячейки в очереди в  $j$ -м коммутационном устройстве.

В сетях ATM процессы доставки ячеек в отдельных звеньях сети и обработки в различных коммутационных устройствах можно считать практически независимыми, что позволяет среднее значение и дисперсию времени задержки ячейки между отправителем и получателем выразить следующим образом [3]:

$$T_{D,ATM} = T_{PD} + T_{TD} + T_{TQ} + T_{DQ},$$

$$D(t_{D,ATM}) = D(t_{PD}) + D(t_{TD}) + D(t_{TQ}) + D(t_{DQ}).$$

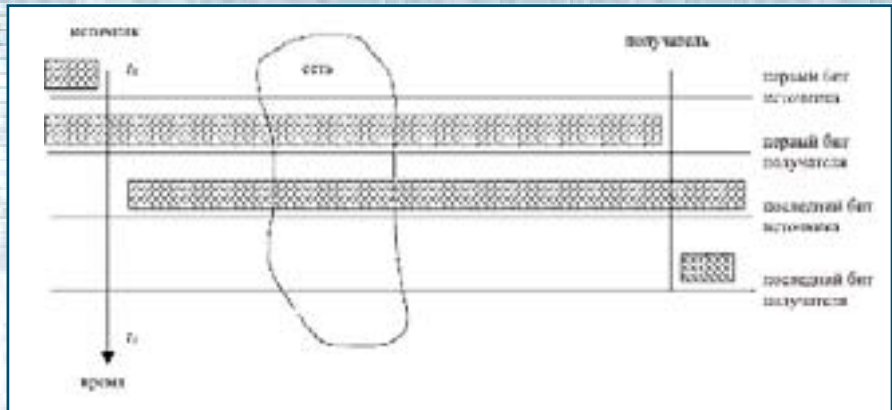


Рис. 1. Время задержки в сети

$$T_{D,PD} = \sum_{i=1}^M T_{TDi}, \quad T_{D,TQ} = \sum_{j=1}^N T_{TQj},$$

$$T_{D,QD} = \sum_{j=1}^N T_{DQj}, \quad D(t_{D,PD}) = \sum_{i=1}^M D(t_{TDi}),$$

$$D(t_{D,TQ}) = \sum_{j=1}^N D(t_{TQj}),$$

$$D(t_{D,QD}) = \sum_{j=1}^N D(t_{DQj}).$$

Задержки при пакетизации ячеек, при распространении сигнала и при обслуживании ячейки в коммутационных устройствах для данного виртуального соединения практически постоянны, следовательно:

$$D(t_{D,PD}) = 0, \quad D(t_{D,TQ}) = 0, \quad D(t_{D,QD}) = 0 \quad (1).$$

Выражения для дисперсии и среднеквадратического отклонения времени задержки с учетом (1) могут быть приведены к виду:

$$D(t_{D,ATM}) = D(t_{D,QD}),$$

$$\sigma(t_{D,ATM}) = \sigma(t_{D,QD}) = \sqrt{D(t_{D,QD})},$$

то есть джиттер задержки определяется только очередями в коммутационных устройствах ATM.

Для устранения джиттера задержки для интерактивных служб в оборудовании ATM осуществляется дополнительная задержка ячеек. Однако если джиттер задержки некоторых ячеек превосходит установленную величину, то такие ячейки не успеют включиться в процесс депакетизации и будут потеряны.

Выбор значения времени дополнительной задержки ячеек интерактивных служб определяется двумя противоречивыми факторами:

- с одной стороны, при большом значении времени задержки при депакетизации представляется возможным реализовать малую вероятность потери ячеек по времени в процессе депакетизации;

- с другой стороны, при большом времени задержки при депакетизации тяжело реализовать в сети ATM нормативные значения задержек ячеек.

Исследования, проведенные в [4], показывают, что в процессе депакетизации вероятность потери ячеек по времени не должна превышать  $P_{D,PLR} = P(t_{D,QD} > T_{DD}) = 10^{-10}$ .

Время задержки на депакетизацию при заданном значении вероятности потери ячейки вычисляется через квантиль  $T^{(P)}_{DD}$  порядка  $1 - P_{D,PLR}$  [3], при котором

$$P(t_{D,QD} \leq T^{(P)}_{DD}) = 1 - P_{D,PLR}$$

В этом случае временную прозрачность сети ATM для интерактивных служб можно характеризовать временем задержки, при котором вероятность потери ячейки по времени не превосходит допустимого (нормативного) значения  $T_{D^{(P)}_{ATM}} = T_{PD} + T_{TD} + T_{TQ} + T^{(P)}_{DD}$ , где  $T^{(P)}_{DD}$  - квантиль порядка  $1 - P_{D,PLR}$ .

При этом должно выполняться еще одно условие  $T_{D^{(P)}_{ATM}} \leq T_{D^{(H)}}$ , то есть задержка в сети не должна превышать нормативного значения.

## 2. Метод расчета дополнительной задержки ячеек для устранения джиттера

Одной из основных проблем, которую необходимо решать при создании терминального оборудования

сетей ATM, является устранение джиттера задержки при транспортировании ячеек пользовательской информации изохронных служб.

В общем случае величина джиттера задержки пакетов ATM является функцией:

- скорости обслуживания пакетов ATM коммутационными устройствами;
- удельной нагрузки цифровых трактов связи;
- количества коммутационных устройств в виртуальном соединении между пользователями;
- допустимой величины вероятности потери ячеек при депакетизации.

В настоящее время между сетевыми узлами используются в основном скорости 155 Мбит/с, 622 Мбит/с и 2,5 Гбит/с. Рекомендацией I.211 МСЭ на участке "пользователь - сеть" в начале были определены только два типа широкополосных интерфейсов для поддержания высокоскоростных и низкоскоростных служб:

- симметричный интерфейс со скоростью 155 Мбит/с;
- асимметричный интерфейс, обеспечивающий скорость 622 Мбит/с в направлении "сеть - пользователь" и 155 Мбит/с в обратном направлении.

В 1993 г. в МСЭ от делегаций Германии, США, Канады и Южной Кореи поступили предложения, касающиеся стандартизации интерфейсов "пользователь - сеть" и опирающихся на более низкую скорость передачи ячеек. Целесообразность стандартизации этих интерфейсов объяснялась следующими основными причинами:

- снижение скорости расширяет возможности по использованию существующей цифровой первичной сети, построенной на аппаратуре плезизохронной цифровой иерархии;
- успехи в технике сжатия видеосигналов позволяют обеспечить большинство услуг ЩЦСИО на более низких скоростях без ухудшения качества передаваемой информации;

- может быть обеспечена более экономичная реализация оконечного оборудования и линейных сооружений между сетевым окончанием и коммутационной станцией.

Поэтому численные исследования величины дополнительной временной задержки ячеек для устранения влияния джиттера проведем для цифровых потоков со скоростью 2; 150 и 600 Мбит/с.

Расчеты среднего значения и среднеквадратического отклонения задержки ячеек из-за ожидания ячейки в очереди при условии, что процесс коммутации интерпретируется системой массового обслуживания типа M/D/1, проведены с использованием соотношений

$$T_{\text{ср}} = \frac{\rho T_h}{2(1-\rho)},$$

$$\sigma [t_{\text{ср}}] = \frac{T_h}{(1-\rho)} \sqrt{\rho/3 - \rho^2/12},$$

где  $T_h = (H+I)/R$ ,  $H$  - длина заголовка ячейки;

$I$  - длина информационного поля;

$R$  - скорость обработки. Для оценки влияния перегрузок в сетях ATM расчеты проведены для двух значений удельной нагрузки цифровых трактов связи между коммутаторами ATM  $\rho = 0,8$  и  $\rho = 0,9$ . При проведении численных исследований полагалось, что процессы в сети ATM независимы

$$T_{\text{ср}} = \sum_{j=1}^M T_{\text{ср}j}$$

$$D[t_{\text{ср}}] = \sum_{j=1}^M \{ \sigma [t_{\text{ср}j}] \}^2$$

$$\sigma [t_{\text{ср}}] = \sqrt{D[t_{\text{ср}}]},$$

а дополнительное время задержки, на которое необходимо задерживать ячейки перед процессом депакетизации с целью устранения влияния джиттера, определяется соотношением  $T_{\text{до}} = T_{\text{ср}} + v \sigma [t_{\text{ср}}]$ , где параметр  $v$  может быть найден в зависимости от значения допустимой вероятности потери ячеек при депакетизации согласно данным, приведенным в табл. 1.

Результаты расчетов дополнительного времени задержки для устранения влияния джиттера в зависимости от количества узлов ком-

мутации  $M$  в виртуальном соединении, загрузки цифровых трактов  $\rho$ , скорости  $R$  и вероятности потери ячеек при депакетизации  $P_{\text{PLR}}$  приведены в табл. 2.

Полученные цифры среднего значения, среднеквадратического отклонения времени задержки, а также дополнительного времени задержки ячеек изохронных диалоговых служб при депакетизации с целью устранения влияния джиттера свидетельствуют, что низкоскоростные коммутаторы ATM могут использоваться в основном в сети доступа в качестве местного коммутационного центра при обязательной организации управления потоком для исключения перегрузок.

Необходимо отметить, что при нагрузке, превышающей 80%, происходит резкое увеличение как среднего значения, так и среднеквадратического отклонения времени задержки ячейки. Если при нагрузке, составляющей 80%, среднее значение времени пребывания ячейки в очереди составляет два цикла обслуживания, то при 90% нагрузки оно увеличивается до 9. В свою очередь среднеквадратическое отклонение времени задержки увеличивается с 2.31 цикла обслуживания до 4.89 цикла соответственно.

Все это позволяет сделать вывод, что применение в сети ATM относительно низкоскоростных коммутационных устройств, с одной стороны, позволяет решить проблему подключения к сети ATM большего количества относительно низко- и среднескоростных абонентов, но с другой - достижение временной прозрачности сети ограничивает их использование сетями доступа.

При расчетах использовалась одноканальная система массового обслуживания с пуассоновским потоком на входе, постоянным временем обслуживания и бесконечной емкостью буферного устройства. Данная модель достаточно хорошо аппроксимирует поток ячеек от большого количества источников. Однако на практике коммутационное оборудование имеет всегда ограниченную емкость буферного устройства, а нагрузка поступает пачками. В этом случае вероятность переполнения буферного устройства, а следовательно, вероятность потери ячейки с достаточно высокой степенью точности может быть определена по формуле [4]

**Таблица. 1**

$P(t_{зд} > T_{зд})$	$10^4$	$10^3$	$10^2$	$10^1$
$\alpha$	3,719	4,753	5,612	6,631

**Таблица. 2**

К-во узлов $M$	Среднее время задержки в очередях		СКО времени задержки в очередях		Необходимое дополнительное время задержки для устранения джиттера не более, мкс			
	$T_{уд}, \text{ мкс}$		$\sigma(t_{уд}), \text{ мкс}$		$P_{PLR} = 10^{-2}$		$P_{PLR} = 10^{-4}$	
	$\rho=0,8$	$\rho=0,9$	$\rho=0,8$	$\rho=0,9$	$\rho=0,8$	$\rho=0,9$	$\rho=0,8$	$\rho=0,9$
$R=2 \text{ Мбит/с}$								
2	848	1816	693	1460	5445	13538	4737	12010
5	2544	11648	1200	2539	1050	28247	9278	25697
10	4240	15080	1549,5	3278	14515	40818	12938	37476
$R=150 \text{ Мбит/с}$								
2	11,32	50,94	9,25	19,57	72,7	180,7	63,2	168,8
5	33,96	152,85	16,02	53,90	140,2	377,6	123,9	343,1
10	56,60	254,79	20,70	83,77	193,9	544,9	172,8	563,0
$R=600 \text{ Мбит/с}$								
2	2,828	12,72	2,31	4,89	18,15	45,15	15,79	40,15
5	8,484	38,16	4,00	8,47	35,01	94,32	30,93	85,69
10	14,140	61,50	5,17	10,94	48,42	126,14	41,15	125,00

**Таблица. 3**

Служба	$P_{вкл}$	$P_{отк}$	$P_{плр}$	$D, \text{ мс}$
Телефония	$10^{-2}$	$10^{-1}$	$10^{-3}$	25 мс/500
Передача данных	$10^{-2}$	$10^{-5}$	$10^{-6}$	1000 мс (50мс)
Телевизионное вещание	$10^{-6}$	$10^{-8}$	$10^{-9}$	1000 мс
Аудиовидеосигнал с высокой точностью воспроизведения	$10^{-2}$	$10^{-1}$	$10^{-2}$	1000 мс
Дистанционное управление обработкой	$10^{-5}$	$10^{-1}$	$10^{-3}$	1000 мс

$P_{PLR} \approx \rho^{N_{буф}/N_b+1}$ , где  $N_{буф}$  - размер буферного устройства,  $N_b$  - количество ячеек в пачке,  $\rho$  - удельная нагрузка.

В ряде случаев необходимо решать обратную задачу, то есть определять емкость буферного устройства в зависимости от допустимой величины вероятности потери ячеек из-за его переполнения. Емкость буфера вычисляется по формуле  $N_{буф} = N_b \log P_{PLR} / \log \rho$ . Следует иметь в виду, что при уменьшении вероятности потери ячеек из-за переполнения буфера коммутационного устройства увеличивается время задержки и джиттер.

### 3. Основные требования служб к показателям семантической и временной прозрачности

Сеть можно характеризовать передаточной функцией  $H$ , которая является функцией случайных величин возникновения ошибок  $P_{ош}$  и за-

держки  $t_D$ . Это означает, что сигнал, поступающий на вход сети как  $i_{вх}(t)$ , видоизменяется (вносятся ошибки и возникает задержка) и доставляется в пункт назначения в виде  $i_{вых}(t)$ , то есть  $i_{вых}(t) = H(i_{вх}(t))$ .

Различие между сигналами на входе и выходе должно быть минимальным. Допустимое различие зависит от вида службы. Так, для некоторых служб, осуществляющих обмен информацией в реальном масштабе времени, допустимы очень незначительные изменения (флуктуации) времени задержки в прохождении сигнала. Такие службы называют службами с постоянной скоростью передачи или изохронными. Для их осуществления неприемлемы какие-либо флуктуации времени задержки или могут допускаться ее незначительные изменения. Известно, что речевой сигнал сохраняет хорошее качество только при очень малом колебании битового потока и проскальзывании.

Важным параметром качества обслуживания является и общая задержка в доставке. Она не является критичной для однонаправленного речевого или видеосигнала, однако, отрицательно сказывается при двунаправленных сигналах. Так, для телефонии в соответствии с Рекомендациями СС МСЭ G.164 задержка не должна превышать 25 мс, так как при большей задержке необходимо применение специальных эхо-подавителей, при наличии которых задержка может превышать 25 мс, но должна быть менее 500 мс, так как в противном случае интерактивность диалога становится очень затрудненной.

Возникновение ошибок также должно контролироваться. Для каждой службы определены предельно допустимые вероятности ошибок и время задержки. В табл. 3 приведены требования к задержке  $D$ , вероятности ошибки на бит  $P_{BER}$ , вероятности потери пакета  $P_{PLR}$  и вероятности засылки пакета не по адресу  $P_{PIR}$  для основных служб, полученные в результате исследований Европейского исследовательского центра в области телекоммуникаций (RACE - Research on Advanced Communication in Europe).

Следует отметить, что для передачи данных было внесено дополнительное значение требования к задержке (не более 50 мс), необходимое для обеспечения организации распределенных вычислений. В случае, если некоторые показатели временной и семантической прозрачности не удовлетворяют требованиям службы, то терминальным устройством может осуществляться дополнительная обработка (коррекция) выходного сигнала. Дополнительная обработка заключается в обнаружении и исправлении ошибок или в устранении джиттера времени доставки ячеек.

С целью минимизации количества протоколов на уровне адаптации АТМ в Рек. I.362 СС МСЭ предложено проводить классификацию служб по трем основным признакам:

- временной зависимости между источником и получателем (существует или нет);
- скорости передачи источника (источники с постоянной скоростью передачи или источни-

Характеристика службы	Класс «А»	Класс «В»	Класс «С»	Класс «D»
Временная зависимость между источником и получателем	Существует		Не существует	
Скорость передачи	Постоянная		Изменяющаяся	
Режим обслуживания	Ориентирована на соединение			Не ориентирована на соединение

Рис. 2. Классификация служб

ки с изменяющейся скоростью передачи);

- режиму установления соединения (с установлением соединения или без установления соединения).

Теоретически возможно получение 8-и комбинаций, но СС МСЭ определено 4 класса служб (рис. 2).

В классе А между источником и получателем существует жесткая временная зависимость. Скорость передачи источника постоянная. Служба ориентирована на соединение. Типичным примером является передача речи с постоянной скоростью (64 Кбит/с) или транспортирование по сети АТМ цифровых каналов Т1 или Е1. Предоставление такой услуги в сетях АТМ принято называть эмуляцией канала. Другим примером может служить передача видео с постоянной скоростью.

В классе В также необходимо обеспечивать требуемые характеристики по времени и джиттеру доставки для служб, которые ориентированы на соединение. Отличие класса В от класса А состоит в том, что источниками трафика являются источники с изменяющейся скоростью передачи. Типичные примеры: передача речи, подвижных изображений и звука.

В классе С не требуется выдерживать постоянными временные характеристики по доставке ячеек. Службы ориентированы на соединения, а источники являются источниками с изменяющейся скоростью передачи. Примером может служить передача данных с установлением соединения и сигнализация.

Класс D отличается от класса С только тем, что класс D включает службы, которые не ориентированы на установление соединения. Класс D предназначен для передачи данных без установления соединения.

#### 4. Способы достижения требований к временной прозрачности сети

В целях обеспечения временной прозрачности АТМ для уменьшения времени задержки в узлах коммутации функции заголовка ячейки значительно ограничены. Несмотря на это в заголовке предусмотрены меры защиты от перегрузок.

Так, в заголовке ячейки имеется специальное поле общего управления потоком, которое предназначено для контроля нагрузки, создаваемой оконечным устройством с целью защиты от перегрузок - как в двухточечных, так и в многоточечных конфигурациях доступа в соединениях "пользователь - сеть".

В поле типа полезной нагрузки при наличии перегрузки сетевой узел может модифицировать значение бита индикации перегрузки с 0 на 1. Это дает возможность информировать получателя о возникновении в сети перегрузки. В свою очередь получатель может сообщить пользователю, осуществляющему передачу информации, о необходимости снижения скорости генерации ячеек.

Для указания сетевым узлам, какая ячейка при перегрузке может быть отброшена, в заголовке используется поле приоритета потери ячейки. Приоритет потери ячейки устанавливается пользователем или поставщиком услуг. Ячейки, принадлежащие источникам с постоянной скоростью передачи, всегда должны иметь приоритет по сравнению с источниками с изменяющейся скоростью передачи. В свою очередь, при передаче ячеек источника с изменяющейся скоростью передачи части ячеек может присваиваться 0, а другой части - 1. Это позволяет разделить поток ячеек на поток, определяющий качество обслуживания, и на поток, потеря ячеек ко-

торого не играет большой роли.

Следует также отметить, что в сети АТМ фазе передачи информации предшествует фаза установления виртуального соединения, во время которой осуществляется проверка достаточности сетевых ресурсов как для качественного обслуживания уже установленных виртуальных соединений, так и для создаваемого виртуального соединения. Если сетевых ресурсов недостаточно, то оконечному устройству выдается отказ в обслуживании. Под сетевым ресурсом понимается полоса пропускания цифровых трактов связи, производительность узлов коммутации, емкость буферных накопителей, осуществляющих промежуточное накопление ячеек при их транспортировании через сеть. Известно, что при организации очереди на выходе коммутационного устройства обеспечиваются оптимальные характеристики: "задержка - производительность", а при организации очередей на входе по принципу "первым пришел - первым обслужен" пропускная способность коммутатора используется только на 58% из-за блокировок в голове очереди.

Однако если в схеме коммутационного устройства на каждом выходе предусматривается отдельный буфер, то это приводит к очень большой суммарной памяти коммутационного устройства в целом, так как каждый выходной отдельный буфер рассчитывается на статистику доставки ячеек в наихудшем случае. Поэтому совместно используемая память является оптимальным решением для всех распределений трафика. Это преимущество возрастает с ростом напряженности трафика. В соответствии с рекомендациями МСЭ I.731 один сетевой узел на интерфейсе со скоростью 155 Мбит/с для соединения с постоянной скоростью передачи должен обеспечивать следующие параметры:

- среднее время задержки ячейки не должно превышать 100 мкс;
- максимальное время задержки ячейки не должно превышать 300 мкс;
- вероятность потери ячеек не должно превышать  $2 \times 10^{-10}$ .

В сетях АТМ реализован мониторинг производительности уровня АТМ с помощью ячеек эксплуатации и технического обслуживания (ЭТО). В качестве параметров, характеризующих производительность уровня АТМ с помощью передачи ячеек ЭТО типа РМ (Performance Measurement), используется:

- коэффициент ячеек, пришедших с ошибками;
- коэффициент потерянных ячеек;
- частота появления ячеек, пришедших не по адресу;
- коэффициент прихода ошибочных блоков ячеек, то есть блоков, в которых количество ячеек с ошибками, потерянных ячеек и ячеек, пришедших не по адресу, превышает нормативное;
- среднее значение задержки ячеек;
- среднее квадратическое отклонение задержки ячеек.

В случае, если показатели временной и семантической прозрачности на выходе уровня АТМ не удовлетворяют требованиям служб, то в терминальном устройстве на уровне адаптации АТМ осуществляется дополнительная обработка (коррекция) выходного сигнала. В качестве дополнительной обработки в зависимости от уровня адаптации АТМ осуществляется:

- синхронизация оконечных устройств;
- обработка переменных задержек ячеек с целью устранения джиттера;
- обработка потерянных ячеек и ячеек, пришедших не по адресу;
- отслеживание битовых ошибок в информационном поле ячеек

- с возможностью их исправления;
- оповещение о потерянной или ошибочной информации, которая не восстанавливается уровнем адаптации АТМ.

## Заключение

Особенностью ШЦСИО, построенной на технологии АТМ, является транспортирование всех видов информации различных служб пакетами фиксированной длины (ячейками), при которой потоки ячеек от различных пользователей асинхронно мультиплексируются в едином цифровом тракте.

Интерес к внедрению в информационно-телекоммуникационные системы технологии АТМ объясняется многими факторами, из которых наиболее существенны следующие:

- настоятельная необходимость в обеспечении обмена между пользователями подвижными и неподвижными изображениями с высоким качеством, так как около 80% информации человечество привыкло получать визуально;
- развитие систем удаленной обработки данных, требующих передачи огромных объемов информации в реальном масштабе времени;
- непрерывный рост требований для создания высокоскоростных трактов связи, объединяющих локальные вычислительные сети и дающих возможность применения мультимедийных приложений;
- возможность в одной сети обеспечить как ныне существующие, так и перспективные службы будущего за счет высокой гибкости сети без перестройки транспортной части системы, а лишь за счет разработки и внедрения соответствующего терминального оборудования.

При этом требования к качеству обслуживания со стороны различных служб существенным образом различаются между собой. Задача интеграции служб в единой сети с одновременным обеспечением наи-

более полной загрузки сети в целом требует разработки математических моделей описания качества обслуживания и методов расчета.

Инженерный метод расчета показателей временной прозрачности сети, рассмотренный в статье, позволяет прогнозировать среднее значение и джиттер времени доставки, а также значение вероятности потери ячеек изохронных служб.

Проведенные численные исследования показателей временной прозрачности сети показывают, что низкоскоростное коммутационное оборудование в сетях АТМ может использоваться только в качестве оборудования доступа в сеть, выполняя функции сетевых адаптеров для ныне существующего аналогового или узкополосного цифрового оконечного оборудования или в целях начального мультиплексирования потоков АТМ пользователей низкоскоростных служб.

Выполнение требований служб к показателям задержки и к вероятности потери пакета в сетях АТМ можно гарантировать только в случае, если в широкополосных цифровых сетях решены проблемы динамического распределения ресурсов и борьбы с перегрузками прежде всего при допуске в сеть нового соединения.

## Литература:

1. Назаров А.Н., Симонов М.В. АТМ: Технология высокоскоростных сетей. - М.: Экотрендз, 1997. - 232 с.
2. Богданов В.Н., Вихлянцев П.С., Симонов М.В. Защита от ошибок в сетях АТМ // Информост, № 3 (21), 2002, с. 20-24.
3. Вентцель Е.С. Теория вероятности. - М.: Наука, 1968. - 426 с.
4. Martin de Prycker. Asynchronous Transfer Mode: Solution for Broadband ISDN. - New York, London...: Ellis Horwood, 1993. - 331 p.

