

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СЛУЖБ CBR И VBRrt В СЕТИ ATM

Мошак Н.Н.(Россия, Санкт-Петербург)

COMPARATIVE ANALYSIS OF ATM NETWORK CBR AND VBRrt SERVICES

Moshak N.N.(Russia, Saint-Petersburg)

ABSTRACT. Comparative analysis of the functioning efficiency of the packet and hybrid homogeneous transport systems based on ATM technology is presented. Certain conditions of the heterogeneous traffic transfer are taken into account. Calculations of the transport connections characteristics in session are based on ATM network architecture model.

АННОТАЦИЯ. Приводится сравнительный анализ эффективности работы пакетных и гибридных однородных транспортных систем на технологии ATM, при заданных условиях передачи разнородного трафика. Методика расчета характеристик транспортных соединений в сеансе связи базируется на модели архитектуры сети ATM.

Проектирование любой сети связи в первую очередь включает в себя задачу анализа, а именно, - определение по входным характеристикам сети (типу и величине входной нагрузки) и ее параметрам (топологии, пропускной способности, показателей надежности, системе маршрутизации) - выходных характеристик (вероятностно-временных характеристик (ВВХ) различных направлений связи, характеристик потерь в сети и т. п.). Анализ сети необходим при поисках ее оптимальной топологии, оптимального плана распределения потоков, их всевозможных комбинаций, а также синтеза необходимых величин пропускных способностей линейных цифровых трактов (ЛЦТ). Эти задачи носят поисковый характер и решаются на каждом шаге итерационного процесса направленным комбинированием входных характеристик и параметров сети с одновременным анализом выходных характеристик, т. е. на каждом шаге при этом решается задача анализа. Анализ сети важен также и при решении задач планирования связи, которые являются основой автоматизированных систем управления связью. Для широкополосных цифровых сетей с интеграцией служб (Ш-ЦСИС) задача анализа сохраняет содержание и важность, но приобретает некоторые особенности, связанные с противоречивыми требованиями к передаче разнородного трафика. Одной из особенностей Ш-ЦСИС на технологии ATM заключается в том, что при установлении виртуальных соединений трафик любого класса обслуживается в ней с блокировкой входящих вызовов. В режиме установленного соединения сеть ATM выступает как система с ожиданием. Исключение составляет только служба CBR, которая для нагрузки класса A в сети ATM организует подсеть с коммутацией

каналов [1]. Пусть нам задана сеть *ATM*, топология которой описывается графом $G = (I, J)$, где I - множество вершин мощности $N = |I|$, $J \subseteq I \times I$ - множество ребер $ij \in J$. Вершины графа $i \in I$ соответствуют узлам сети. Пусть в сети задана общая нагрузка различных классов γ_{st}^k - соответственно для пары st (индекс k соответствует одному из четырех классов трафика: A, B, C или D). Все пары st , для которых $\gamma_{st}^k \neq 0$, образуют множество корреспондирующих пар S^k мощности $q^k = |S^k|$. На графе $G = (I, J)$ для каждой пары st выделяется связный подграф $G_{st} = (I_{st}, J_{st})$, являющийся виртуальным соединением между s и t или ЛЦТ $st \in S^k$. При анализе сети *ATM* мы ограничимся построением и исследованием математических моделей, описывающих процесс передачи разнородного трафика в режиме установленного соединения с учетом потерь по вызовам, при этом будут рассматриваться только однородные магистральные *ATM* - сети, у которых основные вероятностно-временные характеристики всех транспортных соединений $st \in S^k$ одинаковы (например, сети с одинаковыми пропускными способностями каналов между узлами коммутации (УК) $V_{ij} = V = const$, приблизительно одинаковыми нагрузочными характеристиками и значениями вероятностей ошибки в каждом канале $p_{ij} = p$). Для однородных сетей *ATM* расчет сетевых характеристик сводится к расчету характеристик «типичного» для сети n – звенного транспортного канала. Метод расчета основных числовых характеристик транспортных соединений сети *ATM* базируется на концепции ее архитектуры [2]. В рамках этой концепции, эффективность сети в режиме установленного соединения предлагается оценивать набором коэффициентов использования пропускной способности ЛЦТ разнородным трафиком применительно к каждой паре отправитель-получатель на соответствующем логическом уровне, при заданных условиях передачи [2]. Уровневый коэффициент учитывает особенности протокола функционирования данного уровня и необходимой для его работы объем служебной информации. Необходимо отметить, что как для гибридных, так и для чисто пакетных сетей *ATM* общие коэффициенты использования ЛЦТ ячейками данных классов C и D зависят от параметров коэффициентов использования ЛЦТ нагрузкой классов A или B , т. е. носят ярко выраженный условный характер. Введем следующие обозначения: V - скорость передачи в ЛЦТ, содержащем данное виртуальное соединение, бит/с; ω_r^k - скорость работы установки данных r - го типа ($r = \overline{1, R}$) оконечной системы, бит/с; v_r^k -

скорость работы устройства класса A или B r -го типа ($r=1, \overline{R}$), бит/с; L - длина сегмента подуровня сегментации и сборки на AAL, бит; $H_{SAR}^A, H_{SAR}^B, H_{SAR}^C, H_{SAR}^D$ - длина соответствующих служебных полей сегмента подуровня сегментации и сборки на AAL1, AAL2, AAL3/4, AAL5, бит; H_{ATM} - длина заголовка ячейки уровня ATM, бит; N^B, N^C, N^D - среднее число информационных частей сегментов в соответствующих протокольных блоках подуровней конвергенции AAL 2 и AAL3/4. AAL5; $\rho_{st}^B, \rho_{st}^C, \rho_{st}^D$ - коэффициенты загрузки ЛЦТ соответственно ячейками класса B, C и D . Выпишем выражения для общих коэффициентов использования пропускной способности ЛЦТ сети ATM соответственно трафиками классов A, B, C и D , обслуживаемым различными службами в режиме установленного соединения в пакетном (1) и гибридном (2) режиме коммутации [2]:

$$K_{st}^B = \frac{s^B \rho_{st}^B}{N^B (L + H_{ATM})}, K_{st}^{C(p)} = \frac{s^C \rho_{st}^{C(p)} \beta^C}{N^C (L + H_{ATM})}, K_{st}^{D(p)} = \frac{s^D \rho_{st}^{D(p)}}{N^D (L + H_{ATM})}. \quad (1)$$

$$= \lambda \frac{L - H_{SAR}^A}{L + H_{ATM}}, K_{st}^{C(g)} = \frac{s^C \rho_{st}^{C(g)} \beta^C}{N^C (L + H_{ATM})}, K_{st}^{D(g)} = \frac{s^D \rho_{st}^{D(g)}}{N^D (L + H_{ATM})}. \quad (2)$$

Анализ пакетной сети ATM. В режиме установленного соединения в пакетной сети ATM для нагрузки класса B, C и D всегда реализуется режим коммутации пакетов, что является определяющим признаком для систем указанного класса. Математическая модель, описывающая процесс передачи трафика классов B, C и D по однородному n -звенному транспортному каналу, представлена в виде однолинейной многофазной СМО, каждый канал звена которого совместно с соответствующей ему частью памяти УК моделируется СМО M/M/1. На физическом уровне n звеньев образуют тракт передачи, где n - число переключений от источника до получателя, по которому, кроме потока, принадлежащего данному виртуальному соединению (основной поток), могут циркулировать потоки, принадлежащие другим виртуальным соединениям (сторонние потоки). Предполагается также, что доли основного и сторонних потоков на их входе таковы, что при статистическом мультиплексировании большого числа независимых разнородных потоков с переменной скоростью передачи выполняется условие «пуассонизации» суммарного потока. Время установления транспортного канала не учитывается. В сеансе связи трафик класса B обслуживается на каждой фазе с

абсолютным приоритетом (с дообслуживанием) по отношению к нагрузке классов C и D , которые имеют соответственно низшие приоритеты. Понятие вероятности блокировки выделяемого ресурса в сеансе связи для трафика класса B в этой СМО эквивалентно вероятности превышения B -ячейками допустимого времени сетевой задержки θ^B . Обозначим эту вероятность d^B . Эта величина характеризует качество передачи трафика класса B . Для нагрузки данных качество передачи задается средним временем $T_{st}^{(p)}$ пребывания ячеек класса C и D в сети. Таким образом, при заданных параметрах пакетной сети ATM необходимо определить возможность передачи потоков разнородной нагрузки с требуемыми характеристиками обслуживания $\theta^B, d^B, T_{st}^{(p)}$. При этом, если такая передача возможна, то необходимо определить предельные значения указанной нагрузки, а в случае невозможности передачи, - ее максимально допустимые значения, при которых еще возможно заданное качество передачи. В общем случае для пакетной сети ATM с учетом выше введенных предположений сформулированную задачу можно записать в виде последовательности двух задач оптимизации:

$$1. \text{ Найти } Arg \max K_{st}^B \text{ при условии } Pr_{st} \left\{ t \geq \theta^B \right\} \leq d^B \quad \forall st \in S^B : \gamma_{st}^B \neq 0, \quad (3)$$

где $Pr_{st} \left\{ t \geq \theta^B \right\}$ - вероятность превышения времени пребывания пакетов класса B на направлении $st \in S^B$.

$$2. \text{ Найти } Arg \max K_{st}^{C(p), D(p)} \text{ при условии } T_{st}^{C(p), D(p)} \leq T_{st}^{(p)} \quad \forall st \in S^{C, D} : \gamma_{st}^{C(p), D(p)} \neq 0 \quad (4)$$

и все аргументы первой задачи найдены и фиксированы.

Допустимое время сквозной задержки ячейки класса B в транспортном $VBRrt$ -канале θ^B включает а себя три компонента: время накопления информационной части B -ячейки в пакетизаторе при вводе ее в сеть с учетом заданной скорости цифрового кодирования v^k , которое вносит существенную долю в общую сетевую задержку ячейки: $\frac{L - H_{SAR}^B}{v^B}$, а также среднее время задержки ячейки в УК $-T_J$ и собственно время распространения в среде передачи ЛЦТ $-T_{st}$. Здесь $T_{st}^{C(p), D(p)}$ - среднее время передачи ячеек классов C и D на направлении $st \in S^{C, D}$, с учетом задержки, связанной с накоплением информационной

части ячейки у абонента $\frac{L-H_{SAR}^{C,D}}{\omega^{C,D}}$ и задержки на УК и в ЛЦТ. Пусть длительности

активных фрагментов нагрузки класса B и длины сообщений данных класса C на подуровне конвергенции AAL2 и AAL3/4 соответственно равны

$$\tau^B = \int_0^{\infty} t dF^B(t), \quad s^C = \int_0^{\infty} l dF^C(l). \text{ Можно показать, что при достаточно общих}$$

условиях относительно распределений длин фрагментов нагрузки класса B и длин сообщений данных класса C : $F^B(t)$ и $F^C(l)$, при $s^B, s^C \rightarrow \infty$ асимптотически:

$$\frac{s^B}{N^B} \rightarrow L - H_{SAR}^B \text{ и } \frac{s^C}{N^C} \rightarrow L - H_{SAR}^C. \text{ Отметим, что в силу того, что для трафика класса } D \text{ в}$$

ATM-сети организуется датаграммный режим передачи при сравнительно коротких длинах сообщений, условие $s^D \rightarrow \infty$ не выполняется. Поэтому в дальнейшем будем

предполагать, что на подуровне конвергенции AAL5 длины сообщений данных класса D

распределены по экспоненциальному закону с параметрами $\frac{1}{s}$. В этом случае

$$\frac{s^D}{N^D} = s^D \left(1 - e^{-\frac{L-H_{SAR}^D}{s^D}}\right). \text{ Коэффициент } \beta^C \text{ учитывает издержки пропускной способности,}$$

затраченные на повторную передачу ошибочных сегментов данных класса C . Для каналов ЛЦТ с решающей обратной связью, при условии, что распределение числа переспрашиваемых сегментов данных подчинено геометрическому закону и они

независимы друг от друга, $\beta^C = -\frac{p_o}{1-p_o} \ln p_o$, где p_o - вероятность отсутствия ошибок в C -

ячейке. В частности, для биномиального канала с вероятностью ошибки в нем равной p ,

$p_o = (1-p)^{L+H_{ATM}}$. При сделанных допущениях определим выражения для

коэффициентов загрузки ρ_{st}^B , $\rho_{st}^{C(p)}$ и $\rho_{st}^{D(p)}$. Пусть γ_{st}^B - суммарная нагрузка (в эрлангах)

ячеек класса B в ЛЦТ. Тогда выражение для эффективной скорости передачи трафика

указанного класса в тракте имеет вид

$$V_{st}^B = \eta^B Z^B \sum_{r=1}^R n_{r,st}^B v_{r,st}^B \gamma_{r,st}^B, \quad (5)$$

где γ_r^B - средняя нагрузка от конечного устройства класса B ; n_r^B - общее количество

оконечных устройств класса B , η^B - коэффициент уплотнения транспортного канала ячейками класса B за счет использования пауз в информационном потоке (например, для речи типичное среднее значение этого параметра $\eta^B=0,497$), Z^B - коэффициент уплотнения транспортного канала за счет сжатия информации. С другой стороны с учетом (1) скорость V_{st}^B определяется выражением

$$V_{st}^B = K_{st}^B V = \frac{(L - H_{SAR}^B) \rho_{st}^B}{L + H_{ATM}} V. \quad (6)$$

Приравняв (5) и (6) и разрешив уравнение относительно ρ_{st}^B с учетом введенных предположений получим выражения для вычисления величины текущей загрузки канала трафиком класса B

$$\rho_{st}^B = \frac{L + H_{ATM}}{L - H_{SAR}^B} \frac{\eta^B}{V} Z^B \sum_{r=1}^R n_{r,st}^B v_{r,st}^B \gamma_{r,st}^B \quad (7)$$

Ясно, что должно выполняться неравенство $\rho_{st}^B \leq \rho_{st}^{*B}$, где ρ_{st}^{*B} - максимальный коэффициент загрузки ЛЦТ трафиком класса B , который будет определен ниже. Если это не так, то указанный трафик величины $\gamma_{st}^B = \sum_{r=1}^R n_{r,st}^B \gamma_{r,st}^B$ в ATM -сети службой $VBRrt$

обслужен быть не может. Известно [3], что преобразование Лапласа $F_n^B(s)$ плотности распределения времени пребывания B -ячейки в ЛЦТ, состоящем из n однородных

последовательно включенных СМО $M/M/1$, равно $F_n^B(s) = \left[\frac{\mu^B (1 - \rho^B)}{s + \mu^B (1 - \rho^B)} \right]^n$, где

$\mu^B = \frac{V}{L + H_{ATM}}$ - величина, обратная средней длительности обслуживания B -ячейки в

каждой отдельной СМО $M/M/1$. Обращение этого преобразования дает плотность вероятностей $f_n^B(t)$ времени пребывания B -ячейки в транспортном $VBRrt$ -канале ATM [3]

$$f_n^B(t) = \left[\frac{\mu^B (1 - \rho^B)}{(n - 1)!} \right]^n t^{n-1} e^{-\mu^B (1 - \rho^B) t}, \text{ откуда получаем уравнение для нахождения}$$

максимально допустимой величины ρ_{st}^{*B} :

$$\left[\frac{\mu^B(1-\rho^B)}{(n-1)!} \right]^n \int_{\theta^B}^{\infty} t^{n-1} e^{-\mu^B(1-\rho^B)t} dt = d^B. \quad (8)$$

Обозначив $x = \mu^B(1-\rho^B)t$ и произведя замену переменных в уравнении (8),

$$\text{получим } \int_x^{\infty} x^{n-1} e^{-x} dx = (n-1)! d^B, \quad (9)$$

$$\text{где } z = (1-\rho^B)b, \quad (10)$$

$$b = \frac{\theta^B - (L - H_{SAR}^B)/v^B - T_{st} - (n+1)T_J}{L + H_{ATM}} V. \quad \text{Можно показать, что решение}$$

уравнения (9) существует, если $\ln \sum_{k=0}^{n-1} \frac{b^k}{k!} - b \leq \ln d^B$. Если это условие не выполняется, то

при заданных d , n и b по транспортному $VBRrt$ -каналу B -ячейки принципиально не могут быть переданы. Воспользовавшись рекуррентным представлением левой части уравнения (9) по параметру n как неполной гамма-функции, можно свести его решение к решению относительно z следующего нелинейного трансцендентного уравнения:

$$\frac{1}{(n-1)!} z^{n-1} + \frac{1}{(n-2)!} z^{n-2} + \dots + \frac{1}{1!} z + 1 = de^z. \quad (11)$$

Из выражения (10) легко получить искомое ρ_{st}^{*B} :

$$\rho_{st}^{*B} = 1 - \frac{z(L + H_{ATM})}{\theta^B - (L - H_{SAR}^B)/v^B - T_{st} - (n+1)T_J} \frac{1}{V}, \quad (12).$$

где z – есть корень уравнения (11).

При сделанных предположениях и известных значениях ρ_{st}^B выражения для $\rho_{st}^{*C(p)}$ и $\rho_{st}^{*D(p)}$ определим из следующих соображений. Воспользуемся формулой, приведенной в работе [4] для среднего времени пребывания ячейки данных $T_{st}^{C(p)}$ в n -звенном однородном тракте передачи, каждое звено которого моделируется СМО типа $M/M/1$ с абсолютным приоритетом для трафика класса B ,

$$T_{st}^{C(p)} = n \frac{L + H_{ATM}}{(1-\rho_{st}^B)(1-\rho_{st}^B - \rho_{st}^{C(p)})V} + \frac{L - H_{SAR}^C}{\omega^C} + T_{st} + (n+1)T_J$$

Решая это уравнение относительно $\rho_{st}^{C(p)}$, получим

$$\rho_{st}^{*C(p)} = 1 - \rho_{st}^B - \left[\frac{L + H_{ATM}}{T_{st}^{C(p)} - \frac{L - H_{SAR}^C}{\omega^C} - T_{st} - (n+1)T_J} \right] \frac{n}{(1 - \rho_{st}^B)V}$$

Тогда с учетом (1) и вышеуказанных предположений максимальная эффективная скорость передачи ячеек данных класса C в n -звенном однородном тракте равна

$$V_{st}^{C(p)} = V \frac{L - H_{SAR}^C}{L + H_{ATM}} (1 - \rho_{st}^B - \left[\frac{L + H_{ATM}}{T_{st}^{C(p)} - \frac{L - H_{SAR}^C}{\omega^C} - T_{st} - (n+1)T_J} \right] \frac{n}{(1 - \rho_{st}^B)V}) \quad (13)$$

Аналогично для D -ячейки $T_{st}^{D(p)}$, определяется уравнением

$$T_{st}^{D(p)} = n \left[\frac{L + H_{ATM}}{(1 - \rho_{st}^B - \rho_{st}^{C(p)})(1 - \rho_{st}^B - \rho_{st}^{C(p)} - \rho_{st}^{D(p)})V} \right] + \frac{L - H_{SAR}^D}{\omega^D} + T_{st} + (n+1)T_J.$$

Откуда выражение для $\rho_{st}^{*D(p)}$ имеет вид

$$\rho_{st}^{*D(p)} = 1 - \rho_{st}^B - \rho_{st}^{C(p)} - \left[\frac{L + H_{ATM}}{T_{st}^{D(p)} - \frac{L - H_{SAR}^D}{\omega^D} - T_{st} - (n+1)T_J} \right] \frac{n}{(1 - \rho_{st}^B - \rho_{st}^{C(p)})V}$$

Выпишем выражение для максимальной эффективной скорости передачи трафика данных класса D в ЛЦТ, которую может пропустить пакетная ATM -сеть при заданной величине нагрузки класса B , с учетом гарантий предоставления максимальной полосы пропускания для нагрузки класса C при заданном $T_{st}^{D(p)}$ в n -звенном однородном тракте передачи

$$V_{st}^{D(p)} = V \frac{s^D (1 - e^{-\frac{L - H_{SAR}^D}{s^D}})}{L + H_{ATM}} (1 - \rho_{st}^B - \rho_{st}^{C(p)} - \left[\frac{L + H_{ATM}}{T_{st}^{D(p)} - \frac{L - H_{SAR}^D}{\omega^D} - T_{st} - (n+1)T_J} \right] \frac{n}{(1 - \rho_{st}^B - \rho_{st}^{C(p)})V}) \quad (14).$$

Анализ гибридной сети ATM. Транспортные системы с гибридной коммутацией относятся к системам со смешанной стратегией использования ресурсов сети. Для нагрузки класса A , требующей постоянной скорости передачи (речь, телеметрия и т.п.) в сеансе связи, сетевые ресурсы фиксируются «жестко», исключая конфликт доступа к ним, в то время как весь оставшийся свободный ресурс используется для передачи ячеек класса

С и D. Физически в гибридной транспортной системе всегда реализуется два режима коммутации: коммутация каналов и коммутация пакетов. Эти особенности необходимо учесть при анализе систем указанного класса. Математическая модель, описывающая процесс передачи трафика класса A по однородному n-звенному транспортному CBR-каналу, моделируется однозвенной СМО с явными потерями, т. е. весь n-звенный транспортный CBR-канал представляется одним составным звеном. Математическая модель, описывающая процесс передачи трафика классов C и D аналогична пакетной сети ATM с учетом, что пропущенная нагрузка класса A обслужена. Для гибридной сети ATM требуется определить, может ли заданная нагрузка класса C и D быть передана в режиме гибридной коммутации с заданными показателями качества (средним временем передачи) при условии, что обслужена пропущенная нагрузка класса A. Воспользуемся выражениями (2) для общих коэффициентов использования пропускной способности ЛЦТ трафиками класса A, C и D. Для трафика класса A максимально возможная для использования ширина полосы пропускания ЛЦТ, с учетом служебной избыточности, вносимой A-ячейками может быть определена как $V^{*A} = \frac{L - H_{SAR}^A}{L + H_{ATM}}$ V. Пусть величина

пропущенной суммарной средней нагрузки класса A в ЛЦТ равна $\gamma_{st}^A = \sum_{r=1}^R n_{r,st}^A \gamma_{r,st}^A$, где

γ_r^A - средняя нагрузка от оконечного устройства класса A r - го типа ($r = \overline{1, R}$); n_r^A - общее количество оконечных устройств класса A. Требуемая полоса пропускания V_{st}^A для обслуживания пропущенной нагрузки γ_{st}^A класса A равна

$$V_{st}^A = \sum_{r=1}^R n_{r,st}^A v_{r,st}^A \gamma_{r,st}^A \quad . \quad (15)$$

Тогда нетрудно получить среднюю эквивалентную скорость $V^{\mathcal{A}}$, которая может быть предоставлена сетью для передачи данных классов C и D, с учетом избыточности, вносимой A-ячейками в ЛЦТ и при условии, что пропущенная нагрузка класса A сетью обслужена:

$$V^{\mathcal{A}} = V^{*A} - \sum_{r=1}^R n_{r,st}^A v_{r,st}^A \gamma_{r,st}^A \quad . \quad \text{Анализ гибридной сети ATM для нагрузки данных}$$

аналогичен анализу пакетной сети ATM на остатке пропускной способности $V^{\mathcal{A}}$, т. е. оптимальные максимально допустимые загрузки каналов нагрузкой классов C и D

определяются решением следующей задачи оптимизации $\max_{T_{st}^{C(g),D(g)}} K^{C(g),D(g)}$ при

ограничениях $T_{st}^{C(g),D(g)} \leq T_{st}^{(g)} \forall st \in S^{C,D} : \gamma_{st}^{C(g),D(g)} \neq 0$. Выражения для максимальных

коэффициентов загрузки ЛЦТ трафиком класса C и D $\rho_{st}^{*C(g)}$ и $\rho_{st}^{D(g)}$ при заданной нагрузке γ_{st}^A и среднем времени $T_{st}^{C(g)}$ и $T_{st}^{D(g)}$ соответственно имеют вид:

$$\rho_{st}^{*C(g)} = 1 - \left[\frac{L + H_{ATM}}{T_{st}^{C(g)} - \frac{L - H_{SAR}^C}{\omega^C} - T_{st} - (n+1)T_J} \right] \frac{n}{V^\varepsilon}$$

$$\rho_{st}^{*D(g)} = 1 - \rho_{st}^{C(g)} - \left[\frac{L + H_{ATM}}{T_{st}^{D(g)} - \frac{L - H_{SAR}^D}{\omega^D} - T_{st} - (n+1)T_J} \right] \frac{n}{(1 - \rho_{st}^{C(g)})V^\varepsilon}$$

Максимальная эффективная скорость передачи ячеек данных классов C и D в ЛЦТ, которую может предоставить гибридная ATM -сеть при заданных выше ограничениях соответственно дается выражениями:

$$V_{st}^{C(g)} = V^\varepsilon \frac{L - H_{SAR}^C}{L + H_{ATM}} \left(1 - \left[\frac{L + H_{ATM}}{T_{st}^{C(g)} - \frac{L - H_{SAR}^C}{\omega^C} - T_{st} - (n+1)T_J} \right] \frac{n}{V^\varepsilon} \right) \quad (16)$$

$$V_{st}^{D(g)} = V^\varepsilon \frac{s^D (1 - e^{-\frac{L - H_{SAR}^D}{s^D}})}{L + H_{ATM}} \left(1 - \rho_{st}^{C(g)} - \left[\frac{L + H_{ATM}}{T_{st}^{D(g)} - \frac{L - H_{SAR}^D}{\omega^D} - T_{st} - (n+1)T_J} \right] \frac{n}{(1 - \rho_{st}^{C(g)})V^\varepsilon} \right) \quad (17)$$

При условии $n_r^A = n_r^B$ и одинаковых сетевых параметрах показателем эффективности работы пакетной и гибридной сетей ATM может служить коэффициенты использования ЛЦТ на транспортном уровне соответственно трафиком данных

$$G^{(p)} = \left[V_{st}^{C(p)} + V_{st}^{D(p)} \right] / V \quad (18)$$

$$G^{(g)} = \left[V_{st}^{C(g)} + V_{st}^{D(g)} \right] / V \quad (19)$$

В качестве примера рассмотрим пакетные и гибридные сети ATM , в которых циркулирует только один тип ($r=1$) изохронного трафика класса A и B – цифровая речь. Основные числовые характеристики транспортных каналов сгруппированы в таблице 1

(для службы CBR) и таблицах 2, 3 и 4 (для службы VBRrt), которые описывают зависимость $V_{st}^B, \rho_{st}^B, V_{st}^{C(p)}, V_{st}^{D(p)}, V_{st}^A, V_{st}^{C(g)}, V_{st}^{D(g)}, Z^{(g)}, Z^{(p)}$ от величины трафика класса A и B (около 30% и 60% загрузки пропускной способности ЛЦТ) для конкретных значений $V=155\text{Мбит/с}, T_{st}^{C(p)}=T_{st}^{C(g)}=2\text{с}, \theta^B=0,3\text{с}, d^B=0,01, n=5, v_1^A=v_1^B=64 \cdot 10^3 \text{бит/с}; \eta^B=0,497, Z^B=0,083$ (метод сжатия речи по стандарту G.723.1 – линейное предсказание с алгебраическим кодовым возбуждением и сопряженной структурой), $\omega_r^C=\omega_r^D=64 \cdot 10^3 \text{бит/с}; T_{st}=T_J \cong 0, s^D=64 \cdot 10^3 \text{бит}; \beta^C=1; L=384\text{бит}, H_{SAR1}^A=8\text{бит}, H_{SAR2}^B=24\text{бит}, H_{SAR3/4}^C=32\text{бит}, H_{SAR5}^D=0\text{бит}, H_{ATM}=40\text{бит}.$

Таблица 1

| Служба CBR | | | | |
|------------|--------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|-------|
| A (эрл) | $V^A \times 10^6 \text{бит/с}$ | $V^{C(g)} \times 10^6 \text{бит/с}$ | $V^{D(g)} \text{бит/с}$ | G^g |
| 644,0 | 41,236 | 79,877 | 879 | 0,515 |
| 1287,0 | 82,643 | 45,643 | 867 | 0,294 |
| | 137,453max | | | |

Таблица 2

| Служба VBRrt | | | | |
|--------------|--------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|-------|
| B (эрл) | $V^B \times 10^6 \text{бит/с}$ | $V^{C(p)} \times 10^6 \text{бит/с}$ | $V^{D(p)} \text{бит/с}$ | G^p |
| 644,0 | 41,236 | 88,358 | 1540 | 0,570 |
| 1287,0 | 82,643 | 48,038 | 2940 | 0,310 |
| | 131,44max | | | |

Таблица 3

| Служба VBRrt ($\eta^B=0.497$) | | | | |
|---------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|-------|
| B (эрл) | $V^B \times 10^6 \text{бит/с}$ | $V^{C(p)} \times 10^6 \text{бит/с}$ | $V^{D(p)} \text{бит/с}$ | G^p |
| 644,0 | 20,494 | 108,625 | 1120 | 0,701 |
| 1287,0 | 40,989 | 88,600 | 1400 | 0,572 |

Таблица 4

| Служба $VBRrt$ ($\eta^B=0.497$ и $Z^B=0.083$) | | | | |
|---|-------------------------|------------------------------|------------------|-------|
| B (эрл) | $V^B \times 10^6$ бит/с | $V^{C(p)} \times 10^6$ бит/с | $V^{D(p)}$ бит/с | G^P |
| 644,0 | 1,701 | 127,015 | 980 | 0,819 |
| 1287,0 | 3,402 | 125,352 | 980 | 0,809 |

Анализ таблиц показывает, что пакетная сеть АТМ в сравнении с гибридной сетью при обеспечении обслуживания одинаковой величины изохронной нагрузки (от 30% до 60%) и одинаковых сетевых параметрах предоставляет под трафик данных полосу пропускания значительно большую:

- до 28,8% - в случае уплотнения транспортного канала ячейками класса B за счет использования пауз в информационном потоке;
- до 51,4% - Z^B - в случае уплотнения транспортного канала ячейками класса B за счет использования пауз в информационном потоке и сжатия информации (стандарт G.723.1). При этом с увеличением доли изохронной нагрузки в ЛЦТ процент загрузки тракта трафиком данных также увеличивается.

1. Н.Н.Мошак. Анализ логической структуры транспортной сети АТМ. М.: ЭЛЕКТРОСВЯЗЬ, №9/2001, стр. 40-44.
2. Н.Н. Мошак. Методы расчета параметров сети АТМ. СПб.: Известие вузов. Приборостроение, т.45, №3/2002, стр.27-32.
3. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания. - М.: Машиностроение, 1979, 432 с.
4. Клейнрок Л. Вычислительные системы с очередями. - М.: Мир., 1979, 600 с.