

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЗВЕНА МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ СЕТЕЙ СВЯЗИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕРМИНАЛОВ АБОНЕНТСКОГО И СЕТЕВОГО ТИПОВ

ЕФЕКТИВНІСТЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЛАНКИ МУЛЬТИСЕРВІСНИХ МЕРЕЖ ЗВ'ЯЗКУ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕРМІНАЛІВ АБОНЕНТСЬКОГО ТА МЕРЕЖНОГО ТИПІВ

EFFICIENCY OF FUNCTIONING OF A PART MULTISERVICE COMMUNICATION NETWORK WITH USE OF TERMINALS OF USER'S AND NETWORK TYPES

Аннотация. Исследована эффективность функционирования звена мультисервисных сетей связи с использованием абонентских и сетевых терминалов многофункционального типа. На основе исследования предложена структурная модель процессов передачи неоднородного трафика, позволяющая оценить условия работы и показатели терминальных оборудований звена сети.

Анотація. Досліджено ефективність функціонування ланки мультисервісних мереж зв'язку з використанням абонентських і мережних терміналів багатофункціонального типу. На основі дослідження запропонована структурна модель процесів передавання неоднорідного трафіка, що дозволяє оцінити умови роботи і показники термінальних обладнань ланки мережі.

Summary. Efficiency functioning of a link of the multiservice communication networks, formed by user's and network terminals of multifunctional type are investigated. On the basis of research the structural model of processes of transfer of the heterogeneous traffic, allowing estimate a working condition and showing of the terminal equipment of a link multiservice network is offered.

В настоящее время одним из важных направлений развития современных систем телекоммуникаций является построение эффективных мультисервисных сетей связи с использованием абонентских и сетевых терминалов многофункционального типа, обеспечивающих предоставление широкого набора основных и дополнительных услуг интеллектуального характера с гибкими возможностями по их управлению и персонализации.

Системный технический анализ работы [1, 2] показали, что построения звеньев мультисервисных сетей связи составляют сети передачи данных с коммутацией пакетов, использующих технологии *ATM* (Asynchronous Transfer Mode), *MPLS* (Multiprotocol Label Switching) и *IP*-телефоний (Internet Protocol). Последние различаются возможностями по предоставлению и интеграции различного спектра узкополосных и широкополосных услуг, а также обеспечению качества обслуживания *QoS* (*QoS* – Quality of Service) неоднородного трафика. К ним ещё относятся интеграция и реализация телематических служб, доступ к *Internet* и передача интегрированного трафика по единым каналам связи и терминальным средствам, которые приобретают большое значение в мультисервисных сетях связи следующего поколения.

Теоретические вопросы построения терминального оборудования звена мультисервисных сетей связи хорошо изучены [3, 4, 5], но бурное развитие новых информационных, сетевых и компьютерных технологий стимулирует дальнейшее их исследование. В соответствии с этим, для решения данной технической задачи необходимо создание многофункциональных абонентских и сетевых терминалов (МАИСТ) звена мультисервисной сети, реализующих процессы интеграции различных видов обслуживания.

Исследования показали [6, 7, 8], что существующее звено сети и ее терминальные оборудования при объединенном обслуживании неоднородного трафика на достаточном уровне не удовлетворяют требованиям МСЭ-Т, G114, E.800, Y.1540. Поэтому возникает задача – создание эффективного многофункционального терминала, работающего в мультисервисных сетях связи, которые предусматривают абонентский и сетевой доступ, передачу и прием любого вида нагрузки. Увеличение нагрузки на звено сети связи приводит к снижению эффективности образующих ее элементов. Создание высокоэффективных МАИСТ для передачи и приема неоднородного трафика будет способствовать повышению эффективности функционирования звена мультисервисных сетей связи. Обсуждению перечисленных вопросов, условий функционирования и оценки показателей эффективности звена мультисервисной сети, образованной МАИСТ, и является целью данной статьи.

Эффективность передачи неоднородного трафика МАиСТ можно оценить с помощью двух больших групп показателей, полностью характеризующих качества функционирования звена мультисервисных сетей связи [7]:

$$E_{эф} = [\max_i(E_{iэф1}), \min_i(E_{iэф2})]. \quad (1)$$

Анализ показывает, что с точки зрения характеристики эффективности и качества обслуживания QoS процессов объединения и передачи гетерогенного трафика, можно определить оптимальное функционирование МАиСТ в мультисервисной сети с коммутацией пакетов. При этом эффективность процесса передачи неоднородного трафика МАиСТ будет описываться следующими целевыми функциями:

$$E_{iэф1} = \sup_{i,\lambda} \{\lambda : C_i(\lambda), V_i(\lambda)\}. \quad (2)$$

Второй критерий эффективности передачи неоднородного трафика, подлежащей минимизации, примет следующий вид:

$$E_{iэф2} = \min_{i,\lambda} \{\lambda : T_{icз}(\lambda), N_{iбн}, C_{ia}\}, \quad (3)$$

где $C_i(\lambda)$ – пропускная способность звена мультисервисной сети при передаче i -го трафика со скоростью входящего потока λ ; $V_i(\lambda)$ – параметры, учитывающие скоростные характеристики МАиСТ звена сети при передаче i -го трафика со скоростью входящего потока λ ; $T_{icз}(\lambda)$ – среднее время задержки при передаче i -го трафика со скоростью входящего потока λ ; $N_{iбн}$ – емкости буферных накопителей (БН) терминала для i -го трафика; C_{ia} – стоимость аппаратных и программных средств для передачи i -го трафика.

Принципы построения и алгоритмы функционирования МАиСТ при объединении процессов обслуживания и передаче неоднородного трафика подробно рассмотрены в [4, 7], где отмечается, что основная архитектура и состав МАиСТ базируется на DSP -технологии (Digital Signal Processing) с программно-управляемых модулей, которые состоят из модулей кодека, цифрового сигнального процессора, содержащего аналоговые и цифровые преобразователи для речевой и видео информации, анализатора и синтезатора речи, факса, видео, данных, работающих на базе RTP (Real Time Protocol), и интегральных мультиплексоров (ИМ) терминала для временного мультиплексирования информационных потоков неоднородного трафика. Алгоритм работы МАиСТ звена сети при передаче неоднородного трафика заключается в пересылке первичной информации от отправителя к адресату, т.е. передача от источника нагрузки неоднородного трафика до получателя при наличии непосредственных скоростных каналов связи.

1. Описание системы и создание структурной модели процесса передачи неоднородного трафика. Современные звенья мультисервисных сетей связи строят на базе коммутаций пакетов. При этом терминальные оборудования звена сети содержат буферный накопитель, а в процессе передачи по сети пакеты передаются из выходного буферного накопителя предыдущего звена по каналу связи во входной буфер последующего звена.

Для выполнения целевой функции (1), характеризующей показатели эффективности системы передачи, необходимо создание математической модели объединения процессов обслуживания различных видов неоднородного трафика, описывающих динамическое перераспределение ресурсов терминальных средств и мультиплексирования трафика с оценкой качества функционирования МАиСТ, базирующихся на современных технологиях, таких как приложения мультимедиа, IP , ATM и NGN (Next Generation Network) [3, 7].

На рис. 1. представлена структурная схема функционирования модели МАиСТ звена мультисервисной сети связи при передаче неоднородного трафика, состоящего из БН, модуля управления трафиком, граничного коммутатора и звена доступа информационных ресурсов, интегральных мультиплексоров терминала и других сетевых элементов [4].

Для исследования и анализа процесса обслуживания потоков пакетов терминальным оборудованием рассматривается модель звена сети, представляющего собой систему массового обслуживания (СМО) типа $M/G/1/N_{бн}$ с общим буферным накопителем (БН) конечной емкости $N_{бн}$, $1 \leq N_{бн} < \infty$. Входящие потоки неоднородного трафика являются пуассоновскими с интенсивностью λ_i , $i = \overline{1, n}$, соответственно. Время обслуживания i -го трафика с ограниченной очередью имеет произвольную функцию распределения b_i , $i = \overline{1, n}$. Предполагается, что функция

распределения b_i – непрерывная и все n ($n \geq 1$), поступающие потоки трафика, независимы (n – общее количество типов потока трафика). Если пакет i -го потока трафика, поступает в момент времени t , когда имеется свободный МАиСТ, то он обслуживается. По истечении допустимого (порога) времени ожидания на обслуживание потока пакетов покидают СМО с вероятностью P_{in} .

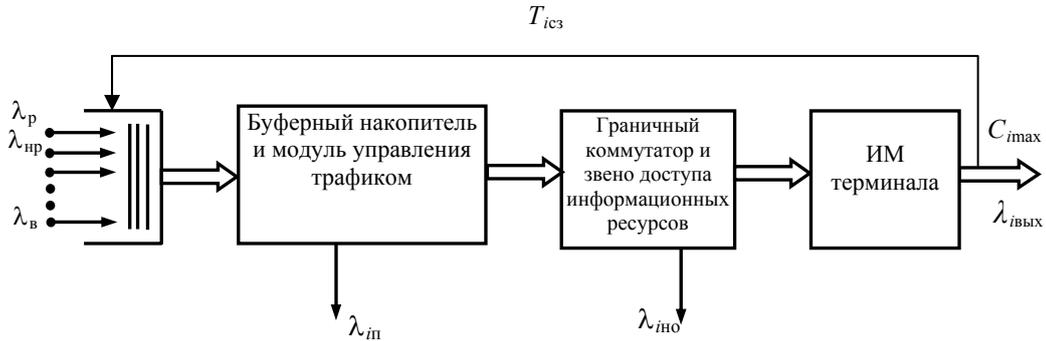


Рисунок 1 – Структурная схема функционирования модели МАиСТ звена мультисервисной сети при передаче неоднородного трафика

Предположим, что поступившие потоки пакетов в момент времени t , когда все обслуживающие МАиСТ заняты, становятся в очередь. В каждой очереди имеется ограниченное число мест ожидания L_i , $i = \overline{1, n}$. В очереди потоки пакетов обслуживаются по правилу *FIFO*. Вероятность выбора из очереди передаваемых потоков пакетов равно Q . Для существования стационарного распределения очереди будем считать, что загрузка $\rho_i(q_{cp})$, зависящей от средней длины очереди $\sum_{i=1}^n \rho_i(q_{cp}) < 1$, $i = \overline{1, n}$.

На основе алгоритма работы схема функционирования модели звена мультисервисной сети следует, что в БН, модуль управления трафиком и доступом МАиСТ поступает стационарный гетерогенный пуассоновский поток трафика с параметром $\lambda_p, \lambda_{np}, \dots, \lambda_b$ образуемый в результате суперпозиции n неоднородных информационных потоков с интенсивностью λ_i ($i = \overline{1, n}$), создаваемых различными типами источников (голоса, факсы, Internet, данные и видео) нагрузки. Тогда, общая интенсивность потока гетерогенного трафика равна $\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i$.

Учитывая интенсивности входящих потоков трафика, пропускную способность интегрального мультиплексора терминала, с учетом алгоритма функционирования модуля управления трафиком и эффективного метода сжатия данных определяется следующим выражением:

$$C_{\max}(\lambda_{in} \leq \lambda_{индоп}) = \sum_{i=1}^n V_{i,\max}(\lambda) \cdot K_{исж} \cdot N_{индоп}, \quad i = \overline{1, n}, \quad (4)$$

где $N_{индоп}$ – допустимое количество блочно-модульных систем терминала, через которые проходит каждый i -й поток трафика; $V_{i,\max}(\lambda)$ – максимальная скорость работы МАиСТ звена сети при передаче i -го потока трафика; $K_{исж}$ – коэффициент сжатия трафика i -го потока пакетов на основе дифференциальных алгоритмов данных и алгоритмов интерполяции речевых и видеосигналов (*ITU-T, G.727A, G.723.1, $K_{исж} \geq 4, \dots, 8$*).

Проведенный анализ работы [3, 5, 7, 8] показали что с целью повышения максимального значения пропускной способности МАиСТ звена мультисервисной сети при передаче неоднородного трафика необходимо учитывать следующее: методы маршрутизация трафика, емкость БН и общую вероятность потерь пакетов P_{in} .

2. Определение условия эффективного функционирования МАиСТ. Установлено [2, 6, 7], что для создания метода оценки процесса передачи неоднородного трафика, необходимо определить условия эффективного функционирования звена мультисервисных сетей связи.

Для неоднородной нагрузки обслуживаемого ИМ i -го трафика $U(\lambda_i)$, при минимизации $U_{ино}$, P_{in} ($P_{in} \leq 0,05 \dots 0,2$), ($i = \overline{1, n}$), целесообразно использовать резервы ресурсов терминалов и

достижимые пропускные способности звеньев мультисервисных сетей связи, которые способствуют определению условий их качества функционирования, его верхних и нижних границ, при ограничении допустимого среднего значения времени задержки трафика.

Согласно общности теоремы Литтла [6] между точками входа и выхода ($\lambda_{i\text{вх}}, \lambda_{i\text{вых}}$) МАиСТ звена сети, можно определить верхнюю границу для достижения пропускной способности при заданном числе $N_{i\text{доп}}$ терминала и допустимого $T_{i\text{сзд}}$ i -го трафика в следующем виде:

$$C_{i\text{max}}(N_{i\text{доп}}, T_{i\text{сзд}}) \leq \sup_i \left[\frac{1}{T_{i\text{сзд}}} \cdot K_{i\text{сж}} \right] \quad i = \overline{1, n}, \quad (5)$$

где $T_{i\text{сзд}}$ – допустимое среднее время задержки i -го потока трафика ($T_{i\text{минд}} \leq T_{i\text{сзд}} \leq T_{i\text{макл}}$). В частном случае, на основе рекомендации *ITU-T, G.114* для передачи речевых трафиков $T_{i\text{сзд}} \leq (150 \div 300)$ мс [2].

Полученное выражение (5) является условием, характеризующим максимально-верхнюю границу достижимой пропускной способности МАиСТ звена мультисервисной сети при передаче i -го потока трафика. Кроме того, выполнение условия (5) существенно зависит от количества функционально модульных схем, производительности МАиСТ и эффективного алгоритма сжатия трафика (*ITU-T, G.729A*, $K_{i\text{сж}} \leq (16, \dots, 12)$, $V_{i\text{т}} \leq 5,3$ кбит/с).

Анализ полученных аналитических выражений (4) и (5) показывает, что увеличение пропускной способности МАиСТ звена сети связи обеспечивает лучшее QoS неоднородного трафика [3, 5, 7].

3. Оценка условия эффективного использования абонентских и сетевых терминалов.

Для обеспечения необходимого уровня качества услуги QoS, влияющей на эффективность функционирования мультисервисных сетей связи следующего поколения и обслуживание i -го потока трафика, являющейся сложной задачей, необходимо эффективно использовать ИМ и терминальные ресурсы. При нормальном функционировании звена сетей связи, когда отсутствует неограниченное возрастание очереди, коэффициент эффективного использования сетевых интегральных мультиплексоров должны быть меньше единицы [8]:

$$\eta_{i\text{им}} [\rho(q_{\text{ср}}) \leq \rho_{\text{доп}}(q_{\text{ср}})] = \sum_{i=1}^n \lambda_i / (\mu_i \cdot N_m) = \sum_{i=1}^n b_i \cdot \lambda_i / N_m, \quad i = \overline{1, n}. \quad (6)$$

Выполнение последнего условия позволяет определить резерв ресурса ИМ терминала системы обслуживания неоднородного трафика, которые выражаются следующим образом

$$R_{i\text{им}} = 1 - \eta_{i\text{им}} [\rho(q_{\text{ср}}) \leq \rho_{\text{доп}}(q_{\text{ср}})]. \quad (7)$$

Анализ (6) и (7) показывает, что полученные соотношения позволяют точнее оценить эффективное использование ресурсов ИМ терминала звена мультисервисной сети связи.

4. Определение нижней границы среднего времени задержки передачи трафика.

Из-за сложной архитектуры и состава МАиСТ с дополнительными блоками (шлюзы, блоки сборки-разборки пакетов, модули цифровой обработки сигналов – блоки сжатия сообщения и др.) увеличивается среднее время задержки передачи неоднородного трафика. Поэтому, целесообразно определить нижнюю границу среднего времени задержки передачи трафика.

На основе структурной модели и с учетом (4) и (5) получим условия, определяющие нижнюю границу – минимальное значение среднего времени задержки передачи i -го трафика МАиСТ, которое выражается неравенством [7]:

$$T_{i\text{сздmin}}(\lambda) \leq \min_i [N_{i\text{доп}} \cdot K_{i\text{сж}} \cdot V_{i\text{макл}}(\lambda)]^{-1}, \quad i = \overline{1, n}. \quad (8)$$

Из последнего следует, что (8) характеризует средние задержки передачи пакетов по звену сети связи и является показателем QoS неоднородного трафика.

Для учета свойства самоподобия трафика в выражениях (4),..., (8) предлагается использовать следующее выражение для коэффициента загрузки канала:

$$\rho_i(q_{\text{ср}}, H) = \frac{\lambda_i}{N_{i\text{им}} \cdot \mu_i} \cdot f(H_i), \quad (9)$$

где $f(H_i) = 2H_i$ – функция, учитывающая свойство самоподобия поступающей нагрузки; H_i – коэффициент Хэрста для потока i -го трафика. Из (9) следует, что от значения H зависят многие показатели качества обслуживания, а значит, коэффициент Хэрста влияет и на требуемые ресурсы

мультисервисных сетей связи с использованием МАиСТ (пропускную способность канала, объем буфера, среднее время задержки передачи и др.).

Однако, при $H = 0,5$ свойство самоподобия трафика отсутствует (случайный поток), при увеличении H до единицы влияние свойства самоподобия нагрузки усиливается. В этом направлении проводятся исследования с использованием СМО типа $fBM/G/N_m/N_{бн}$.

На рис.2 представлена графическая зависимость среднего времени задержки передачи пакета от количества МАиСТ при заданной скорости передачи потока пакетов.

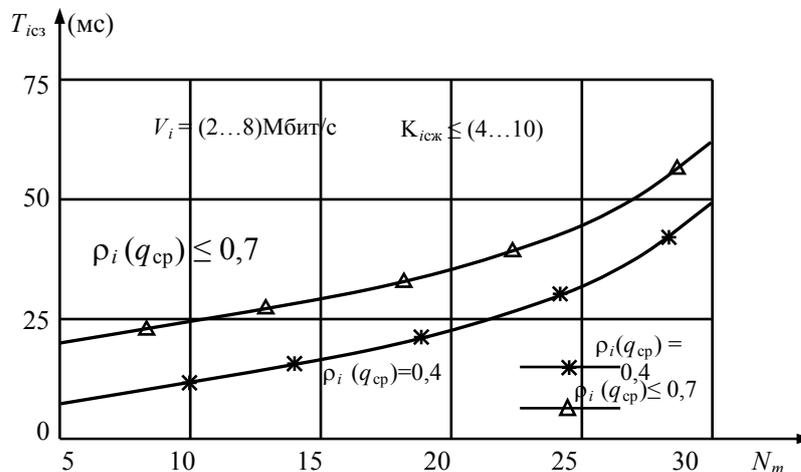


Рисунок 2 – Графическая зависимость среднего времени передачи пакета от количества МАиСТ при заданной скорости передачи потока пакетов

Анализ графической зависимости $T_{изз} = F(N_{им}, K_{изж}, V_{imax})$ показывает, что использование ограниченного количества абонентских и сетевых терминалов $N_{им} \leq 15$ способствует минимизации времени $T_{изз}$ передачи i -го трафика при заданной максимальной скорости работы звена сети $V_{imax} \leq (2, \dots, 8)$ Мбит/с, отвечающей требованиям отказоустойчивости системы обслуживания.

Таким образом, проведенные исследования и анализ показали, что минимизация среднего времени задержки передачи i -го трафика МАиСТ, работающей в сети с коммутацией пакетов, в значительной степени зависит от загруженности звена сети, числа модулей абонентских и сетевых терминалов, емкости буферных накопителей а также использования высокоэффективных протоколов.

В заключение можно сказать следующее. Эффективность передачи неоднородного трафика на основе структурной модели при ограниченных ресурсах, определяется интегральной характеристикой звена мультисервисной сети, которые характеризуют качество функционирования телекоммуникационных систем, использующих абонентские и сетевые терминалы. Результаты исследования показали, что полученные условия для характеристик качества обслуживания системы позволяют в более широком спектре оценить эффективность процессов интеграции и передачи неоднородного трафика МАиСТ.

Литература

1. *Конахович Г.Ф.* Сети передачи пакетных данных / Г.Ф. Конахович, В.М. Чуприн. – К.: МК Пресс, 2006. – 272 с.
2. *Шварц М.* Сети связи: протоколы, моделирование и анализ. Ч.2; [пер. с англ.] / Шварц М. – М.: Наука, 1992. – 272 с.
3. *Лагутин В.С.* Телетрафик мультисервисных сетей связи / В.С. Лагутин, С.Н. Степанов.– М.: Радио и связь, 2000. – 320 с.
4. Пат. №2012149, БИ №8. Устройства для передачи и приема дискретных сигналов / Ибрагимов Б.Г., Сахарчук С.И., Имамвердиев К. Заявитель Ибрагимов Б.Г. – М., 1995.
5. *Кузнецов О.И.* Звено мультисервисной сети связи с повторными вызовами / О.И. Кузнецов // Электросвязь.– 2006.– № 9.– С. 43-45.
6. *Берсекас Д.* Сети передачи данных; [пер. с англ.] / Д. Берсекас, Р. Галлегер.– М.: Мир, 1989. – 544 с.
7. *Ибрагимов Б.Г.* Оценка эффективности систем управления и передачи различных видов информации / Б.Г. Ибрагимов // Приборы и Системы. Управление, контроль, диагностика.– 2003.–№ 3.– С.17-22.

8. Сахарчук С.И. Вероятностно-временные характеристики функционирования локальной сети связи, образованной абонентскими и сетевыми терминалами телеграфного типа / С.И. Сахарчук // Терминальное оборудование связи.– 1993. – Вып. 1-2.– С.3 - 11.