

УДК 004.724.4

Аналитико-имитационная модель функционального преобразования трафика сложной структуры

Ушанев К. В., Макаренко С. И.

Постановка задачи: структурная сложность, как свойство циркулирующего в сетях связи трафика, актуализирует вопросы обеспечения устойчивости их функционирования путем повышения своевременности обслуживания трафика в коммутационных узлах. Известные способы обеспечения устойчивости, основывающиеся на адаптации узлового коммутационного оборудования сети связи к параметрам передаваемого трафика, достаточно широко изучены и описаны в литературе. Менее изученным способом обеспечения устойчивости функционирования сети связи является адаптация передаваемого трафика к ее параметрам. **Целью работы** является обеспечение устойчивости сети связи за счет преобразования трафика сложной структуры в трафик соответствующий простейшему потоку. В качестве критерия сложности структуры трафика предлагается использовать его дисперсионную характеристику - коэффициент вариации интервалов времени между поступающими пакетами. В качестве модели трафика сложной структуры используется поток, имеющий Парето-распределение и коэффициент вариации больше единицы. **Используемые методы:** преобразование трафика основано на применении известного научно-методического аппарата функционального преобразования законов плотностей вероятности. **Новизной** данной работы является учет показателей времени задержки при преобразовании трафика и вероятности отказа в обслуживании пакета из-за переполнения буфера при выполнении преобразования. **Результат:** представленное решение позволит провести моделирование процесса преобразования трафика с учетом вышеуказанных показателей процесса преобразования и в дальнейшем обосновать объем буфера и значение интенсивности отправки пакетов преобразованного трафика. Обоснование этих параметров будет использовано при разработке преобразователя трафика. **Практическая значимость.** Реализация такого преобразователя в составе узлового оборудования в сети позволит повысить своевременность обслуживания преобразованного трафика по сравнению с трафиком сложной структуры в 6-8 раз. Это приведет к росту устойчивости сети на значения, пропорциональные повышенной своевременности.

Ключевые слова: сеть связи, трафик, структурная сложность трафика, преобразование структуры трафика, качество обслуживания трафика.

Актуальность

Развитие современных телекоммуникационных технологий, рост мультимедийного трафика (передача данных, речи, видео и др.) постоянно повышают требования, предъявляемые к пропускной способности сетей связи (СС), к качеству обслуживания трафика QoS (Quality of service). Анализ работ [1-6] показал, что одним из свойств мультимедийного трафика является его структурная сложность. Под трафиком сложной структуры понимается трафик, у которого коэффициент вариации c_τ интервалов времени между поступающими пакетами имеет значения $c_\tau > 1$. Коэффициент вариации [1] – дисперсионная характеристика трафика, определяющая его структурную сложность, и вычисляемая в соответствии с выражением

$$c_\tau = \sigma_\tau / m_\tau, \quad (1)$$

где τ - интервал времени между пакетами трафика, m_τ - математическое ожидание (МОЖ) значений интервалов времени между поступлением пакетов

трафика; σ_τ - среднее квадратическое отклонение (СКО) значений интервалов времени между поступлением пакетов трафика.

Проведенный анализ результатов исследований по передаче трафика сложной структуры [2-5] показал, что при повышении структурной сложности по показателю коэффициента вариации (от $c_\tau=1$ до $c_\tau=2$), своевременность обслуживания в узлах коммутации сформированного трафика снижается в 6-8 раз [7] относительно обслуживания простейшего трафика ($c_\tau=1$). Причем данный эффект наблюдается на высоконагруженных коммутаторах.

Также структурная сложность трафика может быть результатом информационно-технических воздействий, приводящих к снижению своевременности обслуживания трафика в отдельных узлах коммутации [6]. Таким образом, происходит снижение качества обслуживания трафика за счет как увеличения времени задержки преобразования пакета $T_{\text{зад}}$, так и повышения вероятности отказа в обслуживании пакета $P_{\text{отк}}$, что в свою очередь ведет к снижению значений показателя устойчивости информационного направления связи (ИНС) и СС в целом (рис. 1) [8].

Под информационным направлением связи понимается совокупность линий и узлов связи, обеспечивающих связь между двумя абонентами сети.

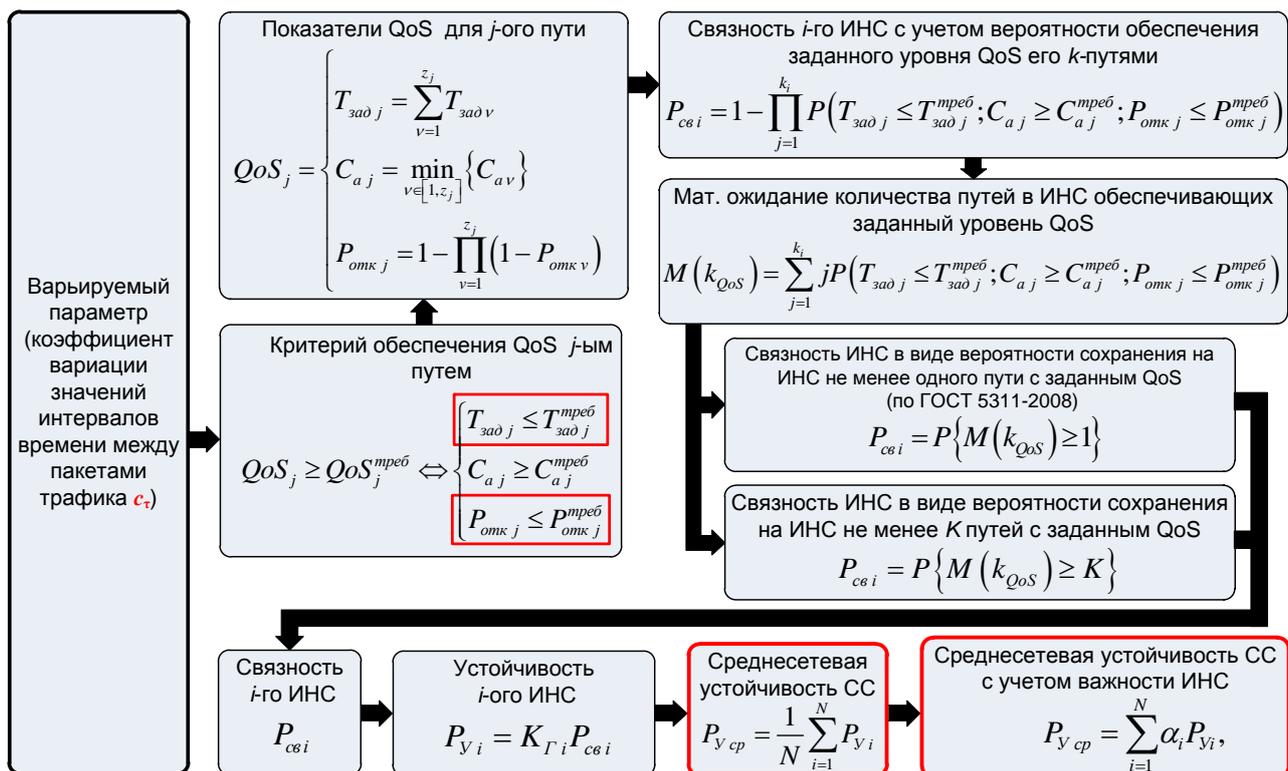


Рис. 1. Влияние коэффициента вариации c_τ на устойчивость сети связи

В настоящее время решение задачи повышения устойчивости сети связи с учетом циркулирующего в ней трафика сложной структуры можно разделить на два основных направления:

- 1) адаптация узлового коммутационного оборудования сети связи к параметрам передаваемого трафика;
- 2) адаптация передаваемого трафика к параметрам сети связи.

К исследованиям по первому направлению решения задачи повышения устойчивости сети связи относятся работы:

- Рыжикова Ю.И. по расчету систем обслуживания с групповым поступлением заявок [9], по расчету системы обслуживания с распределениями Кокса [10];
- Будко П.А., Бурька А.С., Емельянова А.В., Краснокутского А.В., Шлаева Д.В. [11] по определению ресурса пропускной способности каналов связи на сети с коммутацией пакетов различных приоритетов в условиях изменяющейся нагрузки;
- Алиева Т.И. [12] по моделированию гиперэкспоненциального трафика с помощью многофазных экспоненциальных систем;
- Чакрян Е.А. [13] по моделированию телетрафика и каналов передачи данных в условиях помех;
- Цыбакова Б.С. [14] по моделированию трафика с расчетом асимптотических параметров трафика;
- Бахаревой Н.Ф., Тарасова В.Н., Ушакова Ю.А. [2] по моделированию трафика на основе двумерной диффузионной аппроксимации процессов функционирования систем массового обслуживания;
- Малофей О.П., Фомина Л.А., Родионова В.В., Ряднова Д.С. [15] по построению математической модели оценки эффективности и качества сети связи при обслуживании самоподобного трафика, используя в качестве модели самоподобного трафика с распределением Парето;
- Агеева Д.В., Игнатенко А.А., Копылева А.В. [16] по разработке основных расчетных выражений параметров обслуживания потоков в узлах телекоммуникационной сети, используя в качестве самоподобного трафика фрактальное Броуновское движение;
- Дейнеко Ж.В., Замула А.А., Кириченко Л.О., Радивиловой Т.А. [17] по разработке математической модели самоподобного стохастического процесса на основе экспоненциального преобразования ФБД.

А также более раннюю работу одного из авторов [18] по рассмотрению подходов к моделированию непуассоновских информационных потоков и оценке моделей степени соответствия информационным потокам сетей интегрального обслуживания.

Работы по имитационному моделированию, циркулирующего в сетях связи, трафика:

- Рыжикова Ю.И. [19];
- Шелухина О.И., Иванова Ю.А., Пастухова А.С. [20] по исследованию влияния самоподобия ON-OFF источников на скорость интернет-трафика;
- Привалова А.Ю., Боевой М.В. [21] по проведению имитационного моделирования сетевого телекоммуникационного трафика, обладающего самоподобными свойствами с заданным параметром Херста;
- Привалова А.Ю., Благова А.В. [22] по имитационному моделированию трафика сложной структуры с помощью ON-OFF моделей.

А также более ранняя работа одного из авторов [23] по построению имитационной модели формирования трафика сложной структуры.

Ко второму направлению решения задачи повышения устойчивости сети связи относятся работы: Кучерявого Е.А. [24] по управлению трафиком и качеством обслуживания в сети; Назарова А.Н., Сычева К.И. [25] по расчету и управлению приоритетным трафиком в узловом оборудовании сетей NGN; Линца Г.И., Фомина Л.А., Скоробогатова С.А., [26] по формированию самоподобного трафика в телекоммуникационных системах и последующим его преобразованием.

Данная работа относится ко второму направлению решения задачи повышения устойчивости сети связи и основана на функциональном преобразовании трафика, впервые предложенным в работе Линца Г.И., Фомина Л.А., Скоробогатова С.А. [26]. В ней предлагалось направление возможного снижения структурной сложности входного трафика и математическая модель преобразования распределения входного трафика. В своих дальнейших работах [27-29] Линец Г.И. совместно с коллегами решает задачу обеспечения инвариантности мультисервисной сети к структуре входного трафика на основе его функционального преобразования.

Для обеспечения защиты трафика от ИТВ, направленных на преднамеренное формирование сложной структуры трафика ($c_\tau > 1$), в данной работе предлагается разработать методику преобразования трафика (рис. 2) для снижения его структурной сложности ($c_\tau \rightarrow 1$). При этом в качестве основы решения этой задачи предлагается использовать научно-методический аппарат (НМА) функционального преобразования трафика предложенного в работах научной школы Линца Г.И. [26-29].

Анализ исследований [26-29] показал, что полученные в них результаты не обосновывают границы и область применения НМА преобразования с учетом требований по качеству обслуживания трафика (задержка преобразования, объем буфера). В настоящей работе акцент сделан именно на учете этих ранее не исследованных аспектах преобразования трафика, что составляет научную новизну проводимого исследования.

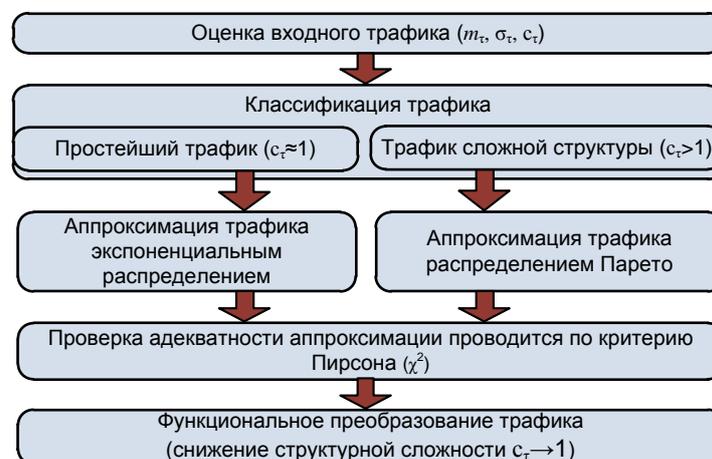


Рис. 2. Последовательность шагов решения задачи снижения структурной сложности трафика

Для формализации задачи разработки модели преобразования трафика введем следующие обозначения:

τ_{par} – интервал времени между поступлениями отдельных пакетов трафика с распределением Парето;

α – параметр формы трафика с распределением Парето;

k – коэффициент масштаба трафика с распределением Парето;

$m(\tau_{\text{par}})$ – МОЖ значений интервалов времени между поступлениями отдельных пакетов трафика с распределением Парето;

$\sigma(\tau_{\text{par}})$ – СКО значений интервалов времени между поступлениями отдельных пакетов трафика с распределением Парето;

τ_{exp} – интервал времени между отправкой пакетов преобразованного трафика, имеющего экспоненциальное распределение;

λ – интенсивность отправки пакетов трафика после преобразования;

$m(\tau_{\text{exp}})$ – МОЖ значений интервалов времени между поступлениями отдельных пакетов трафика с экспоненциальным распределением;

$\sigma(\tau_{\text{exp}})$ – СКО значений интервалов времени между поступлениями отдельных пакетов трафика с экспоненциальным распределением;

$c_{\tau} = \sigma_{\tau}/m_{\tau}$ – коэффициент вариации значений интервалов времени между поступлениями отдельных пакетов трафика;

Q – объем буфера памяти, с использованием которого ведется преобразование трафика;

$P_{\text{отк}}$ – вероятность отказа в обслуживании трафика при наличии буфера памяти объемом Q ;

n_Q – значение очереди пакетов в буфере памяти объемом Q ;

$T_{\text{зад}}$ – время задержки пакета от момента его поступления до момента отправки в составе преобразованного трафика;

$m(T_{\text{зад}})$ – МОЖ времени задержки пакета $T_{\text{зад}}$ в буфере памяти объемом Q в процессе преобразования;

$\sigma(T_{\text{зад}})$ – СКО времени задержки пакета $T_{\text{зад}}$ в буфере памяти объемом Q в процессе преобразования;

$m(n_Q)$ – МОЖ текущей очереди пакетов n_Q , ожидающих отправки (преобразования) в буфере памяти объемом Q ;

$\sigma(n_Q)$ – СКО текущей очереди пакетов n_Q , ожидающих отправки (преобразования) в буфере памяти объемом Q .

Аналитико-имитационная модель

Общая структура имитационной модели преобразования трафика для снижения его структурной сложности представлена на рис. 3.

Данная аналитико-имитационная модель осуществляет процесс преобразования трафика с интервалами времени между пакетами, имеющими распределение Парето ($c_{\tau} > 1$) в трафик с экспоненциальным распределением ($c_{\tau} \approx 1$) в соответствии с математическими зависимостями, представленными в работах [26-29].

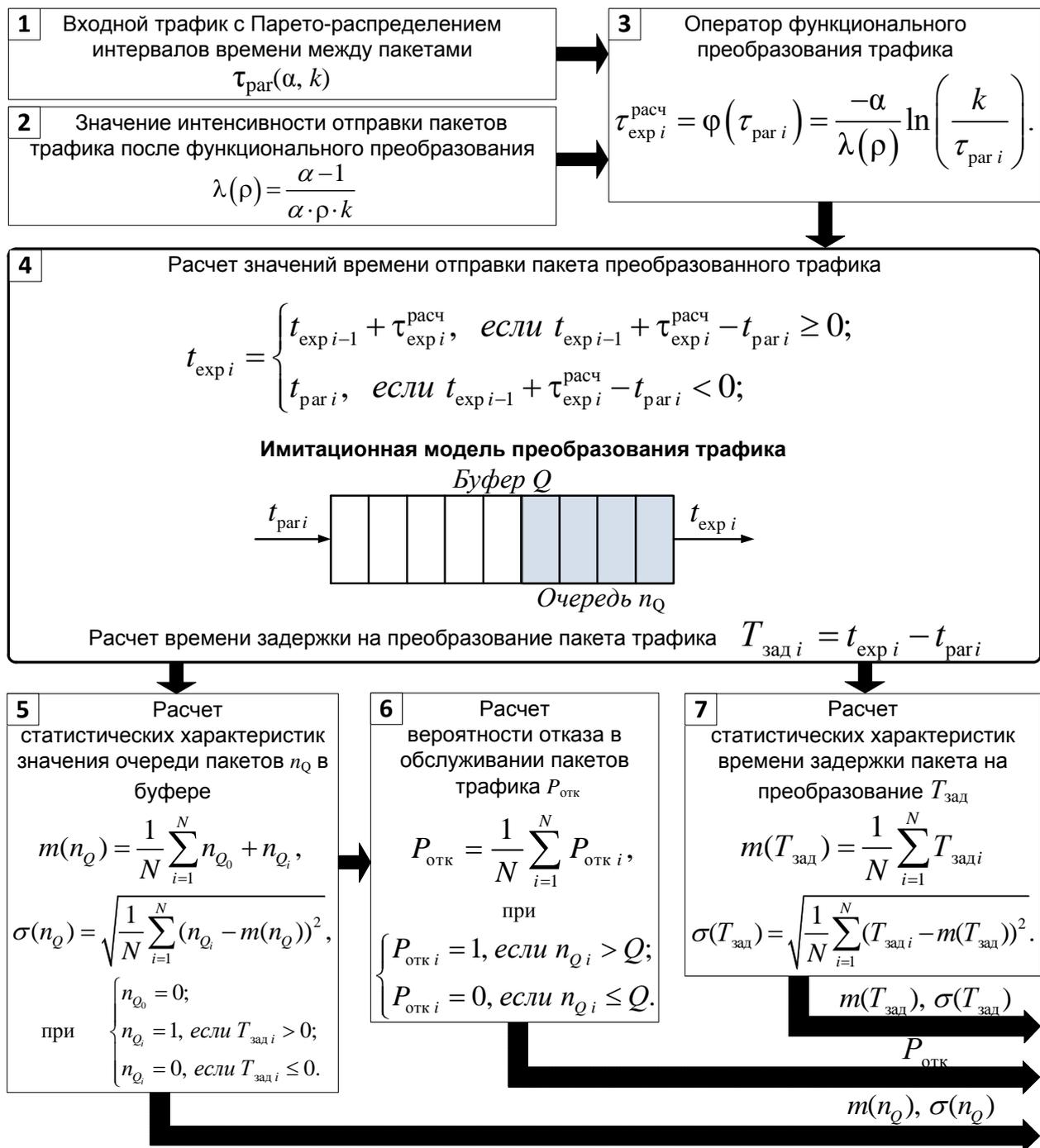


Рис. 3. Общая структура аналитико-имитационной модели преобразования трафика

На первом этапе (перед проведением имитационного) моделирования задаются значения всех входных параметров, используемых в процессе преобразования трафика:

- значение общего числа пакетов N входного трафика с распределением Парето в i -м прогоне модели;
- значение числа прогонов модели M ;
- коэффициент масштаба входного трафика с распределением Парето $k \in [10^{-4}; 10^4]$ (определяет минимальное время между поступлением пакетов);

- параметр формы входного трафика с распределением Парето $\alpha \in (1; 2]$;
- буфер памяти объемом Q , с использованием которого ведется преобразование трафика;
- интенсивность отправки пакетов преобразованного трафика с экспоненциальным распределением λ (варьируемый параметр) из буфера объемом Q .

На втором этапе моделирования (при проведении имитационного моделирования) на вход оператора функционального преобразования трафика [26] поступают значения интенсивности λ отправки пакетов преобразованного трафика и интервалов времени $\tau_{par\ i}$ между отдельными пакетами трафика с Парето-распределением (блок 1, 2 рис. 3). Значения интервалов времени между пакетами входного трафика с распределением Парето $\tau_{par\ i}$ генерируются в соответствии с выражением

$$\tau_{par\ i} = \frac{k}{(1 - rnd(1))^{1/\alpha}}. \quad (2)$$

Расчетные значения интервалов времени между пакетами преобразованного трафика с экспоненциальным распределением $\tau_{exp\ i}^{расч}$ полученные на выходе оператора функционального преобразования (3) поступают на вход имитационной модели.

$$\varphi(\tau_{par\ i}) = \tau_{exp\ i}^{расч} = \frac{-\alpha}{\lambda} \ln\left(\frac{k}{\tau_{par\ i}}\right). \quad (3)$$

В результате прогона имитационной модели временные характеристики процесса преобразования трафика, представленного на рис. 4, определяются следующими выражениями:

- момент времени $t_{par\ i}$ поступления i -го пакета в имитационную модель $t_{par\ i} = t_{par\ i-1} + \tau_{par\ i}, i = [1; N];$ (4)
- момент времени $t_{exp\ i}$ отправки i -го пакета преобразованного трафика из буфера памяти Q (см. блок 4, рис. 3)

$$t_{exp\ i} = \begin{cases} t_{exp\ i-1} + \tau_{exp\ i}^{расч}, & \text{если } t_{exp\ i-1} + \tau_{exp\ i}^{расч} - t_{par\ i} \geq 0; \\ t_{par\ i}, & \text{если } t_{exp\ i-1} + \tau_{exp\ i}^{расч} - t_{par\ i} < 0; \end{cases}. \quad (5)$$

Необходимость введения данной системы обусловлена случаями, когда время задержки пакета в буфере памяти Q от момента поступления до момента его отправки в составе преобразованного трафика (блок 4, рис. 3), равно

$$T_{зад\ i} = t_{exp\ i-1} + \tau_{exp\ i}^{расч} - t_{par\ i} = t_{exp\ i} - t_{par\ i} \quad (6)$$

может быть меньше нуля: $T_{зад\ i} \leq 0$, что противоречит физическому смыслу моделируемого процесса. Для устранения этого противоречия отправка пакета осуществляется сразу же после его поступления $t_{exp\ i} = t_{par\ i}$, пакет не задерживается в буфере, а покидает модель мгновенно, без выполнения преобразования (пакет № 4 на рис. 4).

Если значение времени задержки $T_{зад\ i} > 0$ (пакеты № 2, 3, 5 на рис. 4), то пакет поступает в буфер памяти объемом Q и ожидает времени отправки $t_{exp\ i}$ (в

соответствии с заданным значением интенсивности λ отправки пакетов преобразованного трафика).

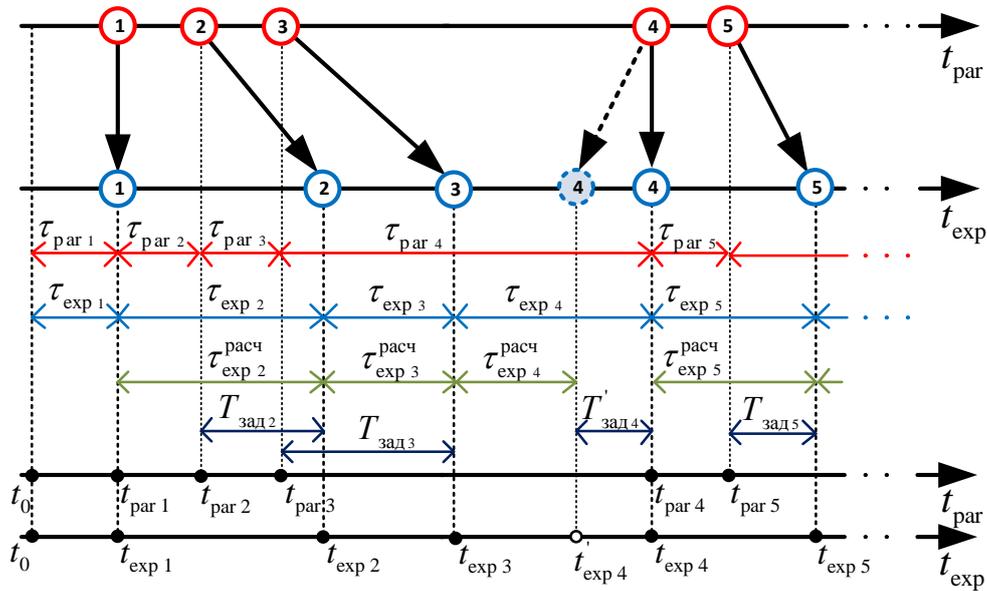


Рис. 4. Временные характеристики процесса преобразования трафика

Аналитико-имитационная модель позволяет определить следующие значения характеристик преобразования трафика со сложной структурой:

- МОЖ текущей очереди пакетов n_Q , ожидающих отправки в буфере памяти объемом Q (блок 5, рис. 3)

$$m(n_Q) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N n_{Q_i} + n_{Q_0} ; \quad (7)$$

- СКО текущей очереди пакетов n_Q , ожидающих отправки в буфере памяти объемом Q (блок 5, рис. 3)

$$\sigma(n_Q) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (n_{Q_i} - m(n_Q))^2} ; \quad (8)$$

- вероятность отказа в обслуживании трафика $P_{отк}$ при ограничении на объем буфера Q (блок 6, рис. 3)

$$P_{отк} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_{отк\ i} ; \quad (9)$$

- МОЖ времени задержки преобразования пакета $m(T_{зад})$ в буфере памяти объемом Q (блок 7, рис. 3)

$$m(T_{зад}) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_{зад\ i} ; \quad (10)$$

- СКО времени задержки преобразования пакета $\sigma(T_{зад})$ в буфере памяти объемом Q (блок 7, рис. 3)

$$\sigma(T_{зад}) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (T_{зад\ i} - m(T_{зад}))^2} . \quad (11)$$

Предложенная аналитико-имитационная модель преобразования трафика сложной структуры ($c_\tau > 1$), позволяет получить значения статистических характеристик, оказывающих влияние на качество обслуживания трафика (времени задержки преобразования пакета трафика $T_{\text{зад}}$, вероятности отказа в обслуживании пакета трафика $P_{\text{отк}}$), обосновать предложения по объему буфера памяти Q . Снижение структурной сложности трафика ($c_\tau \rightarrow 1$) за счет применения функционального преобразования трафика позволит повысить своевременность обслуживания преобразованного трафика по сравнению с трафиком сложной структуры (у которого $c_\tau = 2$) в 6-8 раз.

В приложении 1 представлен программа в MathCad и результат аналитико-имитационного моделирования процесса преобразования трафика с параметрами:

- общее число прогонов модели $M=4$;
- общее число пакетов в прогоне $N=100000$;
- коэффициент масштаба трафика с распределением Парето $k=1$;
- параметр формы трафика с распределением Парето $\alpha=1,7$;
- интенсивность трафика с экспоненциальным распределением $\lambda=0,458$;
- объем буфера $Q=1400$.

Вывод

Реализация представленного преобразователя трафика в составе узлового оборудования в сети позволит повысить своевременность обслуживания преобразованного трафика по сравнению с трафиком сложной структуры в 6-8 раз. Это приведет к росту устойчивости сети на значения, пропорциональные повышению своевременности.

Приложение 1

Входные параметры

Общее число опытов Порядковый номер опыта
 $M := 4$ $j := 0..M - 1$

Параметры распределения Парето

Общее число пакетов Порядковый номер пакета Коэф. масштаба Параметр формы
 $N := 100000$ $i := 1..N$ $k := 1.0$ $\alpha := 1.7$

Параметры Экспоненциального распределения

Интенсивность
 λ

Значение интервалов времени между поступлением пакетов (Парето распределение)

$$\tau_{1_par_{i,j}} := \frac{k}{(1 - md(1))^\alpha}$$

Значение интервалов времени между поступлением пакетов (Экспоненциальное распределение)

$$\tau_{2_exp_{i,j}} := \frac{-\alpha}{\lambda} \ln\left(\frac{k}{\tau_{1_par_{i,j}}}\right)$$

Значение времени поступления очередного пакета трафика с распределением Парето

$$tt_{par_{i,j}} := tt_{par_{i-1,j}} + \tau_{1_par_{i,j}}$$

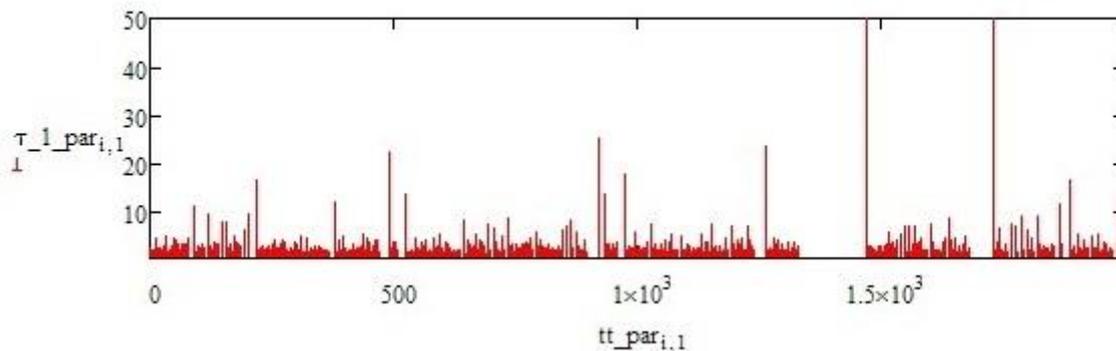
Значение времени отправки очередного пакета трафика с Экспоненциальным распределением

$$tt_{2_exp_{i,j}} := \begin{cases} tt_{2_exp_{i-1,j}} + \tau_{2_exp_{i,j}} & \text{if } (tt_{2_exp_{i-1,j}} + \tau_{2_exp_{i,j}} - tt_{par_{i,j}}) \geq 0 \\ tt_{par_{i,j}} & \text{if } (tt_{2_exp_{i-1,j}} + \tau_{2_exp_{i,j}} - tt_{par_{i,j}}) < 0 \end{cases}$$

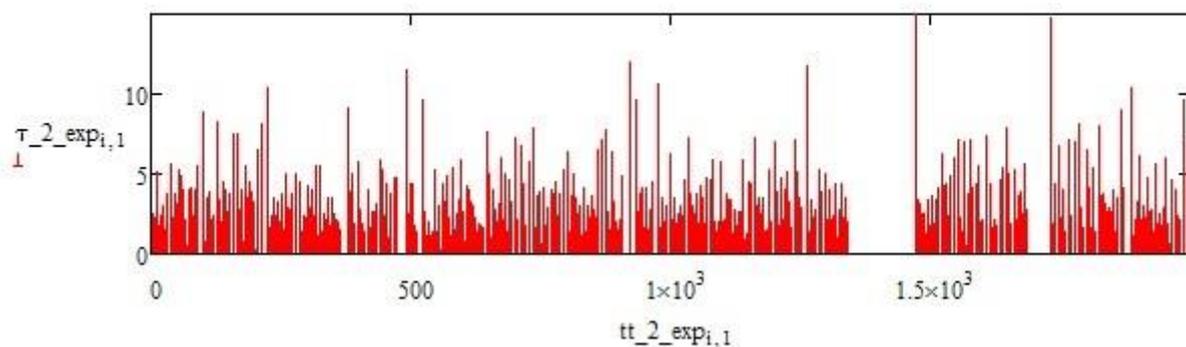
Значение времени между поступлением и отправкой очередного преобразованного пакета

$$t_{zad_{i,j}} := tt_{2_exp_{i,j}} - tt_{par_{i,j}}$$

Значения интервала времени между пакетами (закон Парето)



Значения интервала времени между пакетами (Экспоненциальный закон)



МОЖ значений времени задержки преобразования пакета $T_{\text{зад}}$ в буфере памяти объемом Q в одном прогоне модели

$$m_t_zad_analit_j := \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N t_zad_{i,j}$$

МОЖ значений времени задержки преобразования пакета $T_{\text{зад}}$ в буфере памяти объемом Q в M -прогонах модели

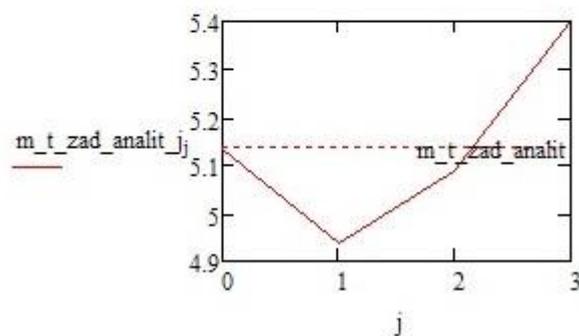
$$m_t_zad_analit := \text{mean}(m_t_zad_analit_j)$$

$$m_t_zad_analit = 5.14$$

$$\frac{1}{N \cdot M} \cdot \sum_{j=0}^{M-1} \sum_{i=1}^N t_zad_{i,j} = 5.14$$

$$\text{mean}(t_zad) = 5.14$$

График МОЖ значений времени задержки преобразования пакета $T_{\text{зад}}$ в j -ом прогоне модели



СКО значений времени задержки преобразования пакета $T_{\text{зад}}$ в буфере памяти объемом Q в одном прогоне модели

$$\sigma_t_zad_analit_j := \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N (t_zad_{i,j} - m_t_zad_analit)^2}$$

СКО значений времени задержки преобразования пакета $T_{\text{зад}}$ в буфере памяти объемом Q в M -прогонах модели

МОЖ текущего значения очереди пакетов, ожидающих отправки в буфере памяти объемом Q в одном прогоне модели

$$n_Q_{0,j} := 0$$

$$n_Q_{i,j} := \text{if}(t_zad_{i,j} > 0, n_Q_{i-1,j} + 1, 0)$$

$$n_Q_j := \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N n_Q_{i,j}$$

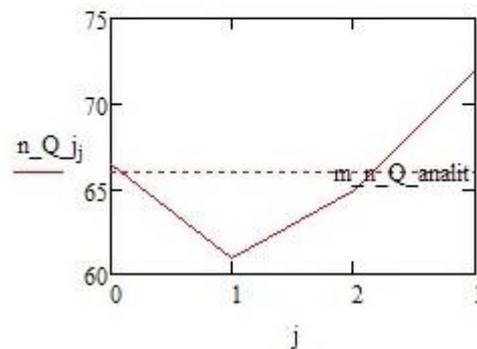
МОЖ текущего значения очереди пакетов n_Q , ожидающих отправки в буфере памяти объемом Q в M -прогонах модели

$$\frac{1}{N \cdot M} \cdot \sum_{j=0}^{M-1} \sum_{i=1}^N n_Q_{i,j} = 66.034$$

$$m_n_Q_analit := \text{mean}(n_Q_j) = 66.034$$

$$\text{mean}(n_Q) = 66.033$$

График МОЖ текущего значения очереди пакетов n_Q , ожидающих отправки в буфере памяти объемом Q в j -ом прогоне модели



$$\sqrt{\frac{1}{N \cdot M} \cdot \sum_{i=1}^N \sum_{j=0}^{M-1} (t_{\text{зад}_{i,j}} - m_{t_{\text{зад_аналит}}})^2} = 5.493$$

$$\sigma_{t_{\text{зад_аналит}}} := \text{stdev}(t_{\text{зад}}) = 5.493$$

СКО текущего значения очереди пакетов, ожидающих отправки в буфере памяти объемом Q в одном прогоне модели

$$\sigma_{n_Q_аналит_j} := \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N (n_{Q,i,j} - m_{n_Q_аналит})^2}$$

СКО текущего значения очереди пакетов, ожидающих отправки в буфере памяти объемом Q в M-прогонах модели

$$\sqrt{\frac{1}{N \cdot M} \cdot \sum_{i=1}^N \sum_{j=0}^{M-1} (n_{Q,i,j} - m_{n_Q_аналит})^2} = 99.142$$

$$\sigma_{n_Q_аналит} := \text{stdev}(n_Q) = 99.142$$

График СКО значений времени задержки преобразования пакета $T_{\text{зад}}$ в j-ом прогоне модели

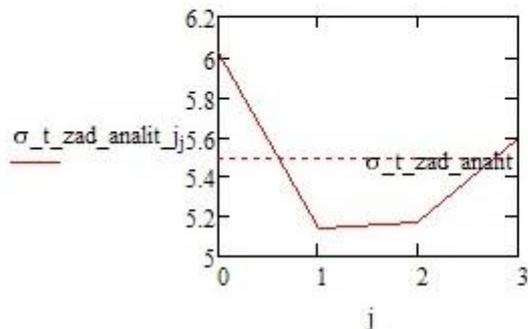
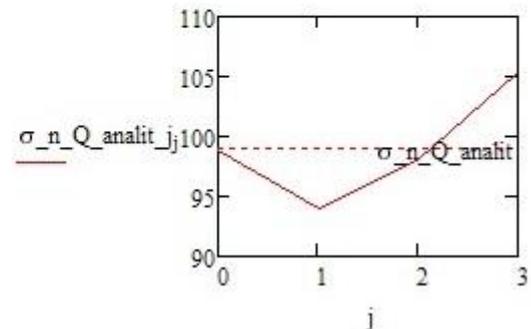


График СКО текущего значения очереди пакетов n_Q , ожидающих отправки в буфере памяти объемом Q в j-ом прогоне модели



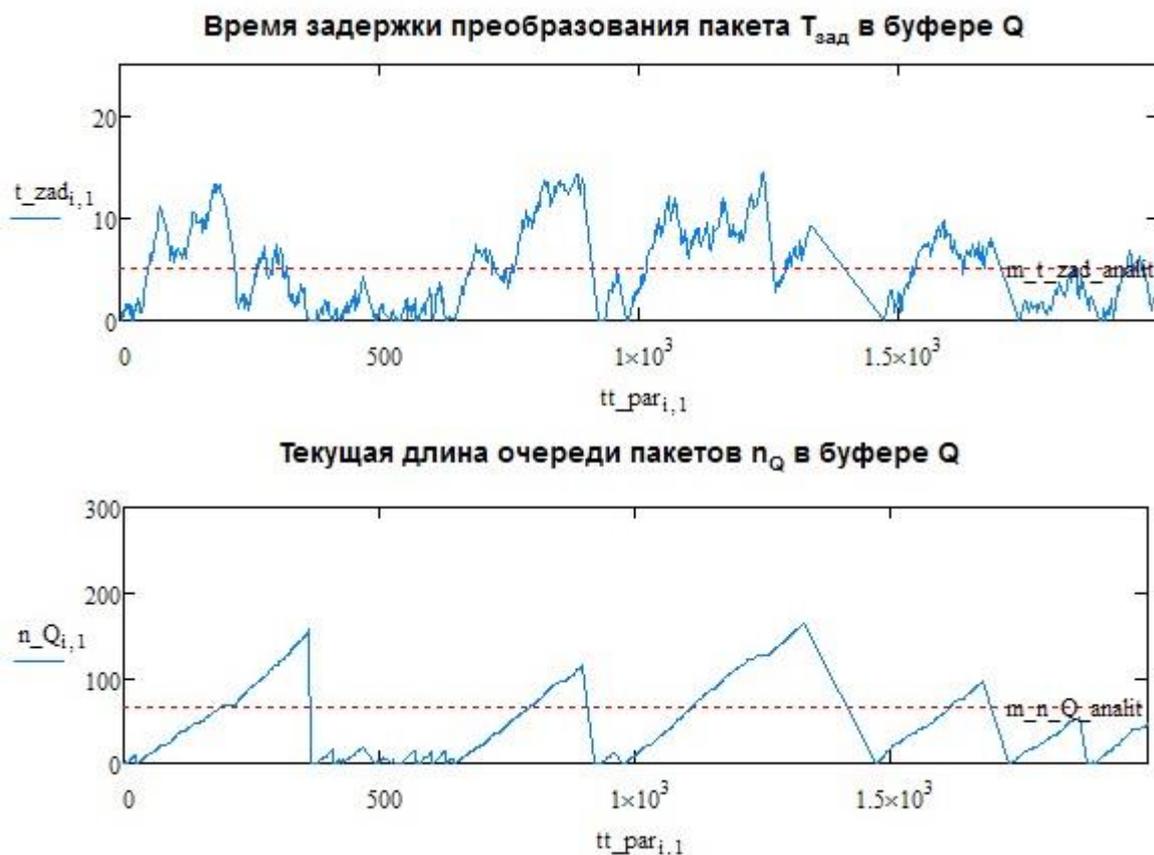
Объем буфера памяти Q

$$Q := 1400$$

Вероятность отказа в обслуживании пакета при наличии буфера объемом Q

$$p_Q := \frac{1}{N \cdot M} \cdot \sum_{j=0}^{M-1} \sum_{i=1}^N \text{if}(n_{Q,i,j} > Q, 1, 0)$$

$$p_Q = 0$$



Литература

1. Бахарева Н. Ф., Карташевский И. В., Тарасов В.Н. Анализ и расчет непуассоновских моделей трафика в сетях ЭВМ // Инфокоммуникационные технологии. 2009. Т. 7. № 4. С. 61-66.
2. Бахарева Н. Ф., Тарасов В. Н., Ушаков Ю. А. Обобщенная двумерная диффузионная модель массового обслуживания типа GI/G/1 // Телекоммуникации. 2009. № 7. С. 2-8.
3. Бахарева Н. Ф., Ушаков Ю. А. Управление нагрузкой на сети ЭВМ распознаванием и моделированием трафика // Инфокоммуникационные технологии. 2008. Т. 6. № 3. С. 56-62.
4. Тарасов В. Н., Бахарева Н. Ф., Горелов Г. А. Математическая модель трафика с тяжелохвостным распределением на основе системы массового обслуживания $H_2/M/1$ // Инфокоммуникационные технологии. 2014. Т. 12. № 3. С. 36-41.
5. Макаренко С. И. Анализ математических моделей информационных потоков общего вида и степени их соответствия трафику сетей интегрального обслуживания // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2012. Т. 8. № 8. С. 28-35.
6. Макаренко С. И. Преднамеренное формирование информационного потока сложной структуры за счет внедрения в систему связи дополнительного имитационного трафика // Вопросы кибербезопасности. 2014. № 3(4). С. 7-13.

7. Алиев Р. Т., Король В. В. Анализ характеристик мультимедийного трафика в локальных вычислительных сетях // Имитационное моделирование. Теория и практика. 2003. Т. 1. С. 45-49.
8. Макаренко С. И., Михайлов Р. Л. Оценка устойчивости сети связи в условиях воздействия на нее дестабилизирующих факторов // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2013. № 4. С. 69-79.
9. Рыжиков Ю. И. Расчет систем обслуживания с групповым поступлением заявок // Информационно-управляющие системы. 2007. № 2. С. 39-49.
10. Рыжиков Ю. И. Полный расчет системы обслуживания с распределениями Кокса // Информационно-управляющие системы. 2006. № 2. С. 38-46.
11. Будко П. А., Рисман О. В. Многоуровневый синтез информационно-телекоммуникационных систем. Математические модели и методы оптимизации. – СПб.: ВАС, 2011. – 476 с.
12. Алиев Т. И. Основы моделирования дискретных систем. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2009. – 363 с.
13. Чакрян Е. А. Многомерные стохастические и имитационные модели телетрафика и каналов передачи данных в условиях помех. Автореф. дис. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук по спец. 05.13.18. Ростов-на-Дону: РГУПС, 2009. 18 с.
14. Цыбаков Б. С. Модель телетрафика на основе самоподобного случайного процесса // Радиотехника. 1999. Вып. 5. С. 24-31.
15. Макаренко С. И. Анализ математических моделей информационных потоков общего вида и степени их соответствия трафику сетей интегрального обслуживания // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2012. Т. 8. № 8. С. 28-35.
16. Малофей О. П., Фомин Л. А., Родионов В. В., Ряднов Д. С. Моделирование самоподобного трафика при построении сетей NGN // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2009. № 11. С. 176-186.
17. Агеев Д. В., Игнатенко А. А., Копылев А. В. Методика определения параметров потоков на разных участках мультисервисной телекоммуникационной сети с учетом эффекта самоподобия // Проблемы телекоммуникаций. 2011. № 3(5). С. 18-37.
18. Дейнеко Ж. В., Замула А. А., Кириченко Л. О., Радивилова Т. А. Об одном методе моделирования самоподобного стохастического процесса // Вісник Харківського національного університету. 2010. № 890. С. 53-63.
19. Рыжиков Ю. И. Имитационное моделирование. Теория и технологии. – СПб.: КОРОНА принт, 2001. – 380 с.
20. Шелухин О. И., Иванов Ю. А., Пастухов А. С. Исследование влияния самоподобия ON-OFF источников на скорость интернет-трафика // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2008. Т. 4. № 1-2. С. 97-100.

21. Привалов А. Ю., Баева М. В. Моделирование самоподобного трафика // Известия самарского научного центра российской академии наук. 2006. Т. 8. № 4. С. 1041-1046.

22. Привалов А. Ю., Благов А. В. Об использовании некоторых моделей самоподобного сетевого трафика в имитационном моделировании // Математическое моделирование. 2011. Т.23. № 7. С. 114-128.

23. Ушанев К. В. Имитационная модель формирования трафика сложной структуры // Информационные технологии моделирования и управления. 2014. № 3(87). С. 263-272.

24. Кучерявый Е. А. Управление трафиком и качество обслуживания в сети Интернет. – СПб.: Наука и Техника. 2004. – 336 с.

25. Назаров А. Н., Сычев К. И. Модели и методы расчета показателей качества функционирования узлового оборудования и структурно-сетевых параметров сетей связи следующего поколения. – Красноярск: «Поликом», 2010. – 389 с.

26. Линец Г. И., Фомин Л. А., Скоробогатов С. А. Снижение влияния самоподобности трафика в пакетных сетях // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. 2008. № 11. С. 38-42.

27. Линец Г. И., Фомин Л. А., Скоробогатов С. А., Криволапов Р. В. Способ снижения влияния самоподобности в сетевых структурах и устройство для его осуществления // Патент на изобретение № 2413284. 27.02.2011 г.

28. Линец Г. И. Методы структурно-параметрического синтеза, идентификации и управления транспортными телекоммуникационными сетями для достижения максимальной производительности. Автореф. дис. ... докт. техн. наук по спец. 05.13.01. Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет, 2013. 34 с.

29. Линец Г. И., Фомин Л. А., Говорова С. В., Меденец В. В. Построение мультисервисных сетей на основе функциональных преобразований трафика // «Инфокоммуникационные технологии». 2014. Т. 12. № 4. С. 40-45.

References

1. Bakhareva N. F., Kartashevskii I. V., Tarasov V. N. Analiz i raschet nepuassonovskikh modelej trafika v setjah EVM [The Analysis and Calculation of Not-Poisson Traffic Models in Computer Networks]. *Infokommunikacionnye Tehnologii*, 2009, vol. 7, no. 4, pp. 61-66 (in Russian).

2. Bakhareva N. F., Tarasov V. N., Ushakov U. A. Obobshhennaja dvumernaja diffuzionnaja model' massovogo obsluzhivaniya tipa [The Generalized Two-Dimensional Diffusion Waiting Line Model of Type GI/G/1]. *Telecommunications*, 2009, no. 7, pp. 2-8 (in Russian).

3. Bakhareva N. F., Ushakov U. A. Upravlenie nagruzkoj na seti JeVM raspoznavaniem i modelirovaniem trafika [Load Control of the Computer Network with Recognition and Simulation of Traffic]. *Infokommunikacionnye Tehnologii*, 2008, vol. 6, no. 3, pp. 56-62 (in Russian).

4. Tarasov V. N., Bakhareva N. F., Gorelov G. A. Matematicheskaja model' trafika s tjazhelohvostnym raspredeleniem na osnove sistemy massovogo

obsluzhivaniya [The Mathematical Model of Traffic with Heavy Tail Distribution on the Basis of Queuing System Type of $H_2/M/1$]. *Infokommunikacionnye Tehnologii*, 2014, vol. 12, no. 3, pp. 36-41 (in Russian).

5. Makarenko S. I. Analiz matematicheskikh modelej informacionnyh potokov obshhego vida i stepeni ih sootvetstviya trafiku setej integral'nogo obsluzhivaniya [Analyzing of Mathematical Models of General Type Data Streams and Degree of Their Conformity to Integral Service Net Traffic]. *Vestnik Voronejskogo gosudarstvennogo technicheskogo universiteta*, 2012, vol. 8, no. 8, pp. 28-35 (in Russian).

6. Makarenko S. I. Prednamerennoe formirovanie informacionnogo potoka slozhnoj struktury za schet vnedreniya v sistemu svyazi dopolnitel'nogo imitacionnogo trafika [Premeditated Formation of the Traffic of Difficult Structure Due to Implementation in the Communication System of Additional Imitative Traffic]. *Voprosy Kiberbezopasnosti*, 2014, no. 3(4), pp. 7-13 (in Russian).

7. Aliev R. T., Korol V. V. Analiz harakteristik mul'timedijnogo trafika v lokal'nyh vychislitel'nyh setjah [The Analysis of Traffic Characteristics of Local Area Networks]. *Imitating Simulation. Theory and Practice*, 2003, vol. 1, pp. 45-49 (in Russian).

8. Makarenko S. I., Mikhailov R. L. Ocenka ustojchivosti seti svyazi v uslovijah vozdeystviya na nee destabilizirujushhih faktorov [Estimating Communication Network Stability Under the Conditions of Affecting Destabilization Factors on It]. *Radioengineering and Telecommunication Systems*, 2013, no. 4, pp. 69-79 (in Russian).

9. Ryzhikov Y. I. Raschet sistem obsluzhivaniya s gruppovym postupleniem zajavok [Calculation of Systems of Service with Group Receipt of Demands]. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy*, 2007, no. 2, pp. 39-49 (in Russian).

10. Ryzhikov Y. I. Polnyj raschet sistemy obsluzhivaniya s raspredelenijami Koksxa [Full Calculation of System of Service with Cox's Distributions]. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy*, 2006, no. 2, pp. 38-46 (in Russian).

11. Budko P. A., Risman O. V. *Mnogourovnevyy sintez informacionno-telekommunikacionnyh sistem. matematicheskie modeli i metody optimizacii* [Multilevel Synthesis of Information and Telecommunication Systems. Mathematical Models and Methods of Optimization]. Saint-Petersburg, Military Academy of Communications, 2011. 476 p. (in Russia).

12. Aliev T. I. *Osnovy modelirovaniia diskretnykh system* [Bases of Modeling of Discrete Systems]. Saint-Petersburg, Saint-Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics Publ., 2009. 363 p. (in Russia).

13. Chakrian E. A. *Mnogomernye stohasticheskie i imitacionnye modeli teletrafika i kanalov peredachi dannyh v uslovijah pomeh*. Dis. kand. tehn. nauk. [Multidimensional Stochastic and Imitating Models of a Teletraffic and Data Links in the Conditions of Hindrances. Ph.D. Tesis]. Rostov-on-Don, Rostov State Transport University, 2009. 18 p. (in Russian).

14. Tsibakov B. S. Model' teletrafika na osnove samopodobnogo sluchajnogo processa [Teletraffic Model on the Basis of Self-Similar Casual Process] *Radiotekhnika*, 1999, no. 5, pp. 24-31 (in Russian).

15. Makarenko S. I. Analiz matematicheskikh modelej informacionnyh potokov obshhego vida i stepeni ih sootvetstvija trafiku setej integral'nogo obsluzhivaniya [Analysis of Mathematical Models of Information Streams of a General View and Degree of Their Compliance to a Traffic of Networks of Integrated Service]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tehniceskogo universiteta*, 2012, vol. 8, no 8, pp. 28-35 (In Russian).

16. Malofej O. P., Fomin L. A., Rodionov V. V., Rjadnov D. S. Modelirovanie samopodobnogo trafika pri postroenii setej NGN [Modeling of a Self-Similar Traffic at Creation of the NGN Networks]. *Izvestiya Southern Federal University. Engineering Sciences*, 2009, no. 11, pp. 176-186 (In Russian).

17. Ageev D. V., Ignatenko A. A., Kopylev A. V. Metodika opredelenija parametrov potokov na raznyh uchastkah mul'tiservisnoj telekommunikacionnoj seti s uchetom jeffekta samopodobija [Technique of Determination of Parameters of Streams on Different Sites of a Multiservice Telecommunication Network taking into Account Effect of Self-Similarity]. *Problemy telekomunikatsiy*, 2011, no. 3(5), pp. 18-37 (in Russian).

18. Dejneko Zh. V., Zamula A. A., Kirichenko L. O., Radivilova T. A. Ob odnom metode modelirovaniya samopodobnogo stohasticheskogo processa [About One Method of Modeling of Self-Similar Stochastic Process]. *The Journal of V.N.Karazin Kharkiv National University*, 2010, no. 890, pp. 53-63 (in Russian).

19. Ryzhikov Y. I. Imitatsionnoe modelirovanie. Teoriia i tekhnologii. [Imitating Modeling. Theory and Technologies]. Saint Petersburg, Korona print Publ., 2001. 380 p. (in Russian).

20. Sheluhin O. I., Ivanov Y. A., Pastuhov A. S. Issledovanie vlijaniya samopodobija ON-OFF istochnikov na skorost' internet-trafika [Research of Influence of Self-similarity of ON-OFF of Sources on Internet Traffic Speed]. *Elektrotehnicheskie i informacionnye komplekсы i sistemy*, 2008, vol. 4. no. 1-2, pp. 97-100 (in Russian).

21. Privalov A. Y., Baeva M. V. Modelirovanie samopodobnogo trafika [Modeling of a Self-Similar Traffic]. *Izvestija samarskogo nauchnogo centra rossijskoj akademii nauk*, 2006, vol. 8, no. 4, pp. 1041-1046 (in Russian).

22. Privalov A. Y., Blagov A. V. Ob ispol'zovanii nekotoryh modelej samopodobnogo setevogo trafika v imitacionnom modelirovanii [About Use of Some Models of a Self-Similar Network Traffic in Imitating Modeling]. *Mathematical Models and Computer Simulations*, 2011, vol. 23, no. 7, pp. 114-128 (in Russian).

23. Ushanev K. V. Imitacionnaja model' formirovaniya trafika slozhnoj struktury [Imitating Model of Formation of a Traffic with Structural Complexity]. *Information technologies of modeling and control*, 2014, no. 3(87), pp. 263-272 (in Russian).

24. Kucheryavii E. A. *Upravlenie trafikom i kachestvo obsluzhivaniya v seti Internet* [Traffic Management and the Quality of Service on the Internet]. Saint-Petersburg, Science and Technology Publ., 2004. 336 p. (in Russian).

25. Nazarov A. N., Sychev K. I. *Modeli i metody rascheta pokazatelej kachestva funkcionirovanija uzlovogo oborudovanija i strukturno-setevyh parametrov setej svyazi sledujushhego pokolenija* [The Models and the Methods of Measuring of Quality Indicators of Nodal Equipment Functioning and Network Structural Parameters of Next Generation Networks]. Krosnoyarsk, Polykom Publ., 2010. 389 p. (in Russian).

26. Linec G. I., Fomin L. A., Skorobogatov S. A. Snizhenie vlijaniya samopodobnosti trafika v paketnyh setjah [Lowering of Influence of Self-Similitude of Traffic on Package Networks]. *Automation, Telemechanization and Communication in Oil Industry*, 2008, no. 11, pp. 38-42 (in Russian).

27. Linec G. I., Fomin L. A., Skorobogatov S. A., Krivolapov R. V. *Sposob snizhenija vlijaniya samopodobnosti v setevyh strukturah i ustrojstvo dlja ego osushhestvlenija* [The Way of Lowering Self-Similitude on Network Structures and the Device for Its Realization]. Patent Russia, no. 2413284, 27 February 2011. (in Russian).

28. Linec G. I. *Metody strukturno-parametricheskogo sinteza, identifikacii i upravlenija transportnymi telekommunikacionnymi setjainin dlja dostizhenija maksimal'noj proizvoditel'nosti*. Diss. dokt. tehn. nauk [The Methods of Structural Parametric Synthesis, Identification and Control of Transport Telecommunication Networks for Achievement of the Maximum Productivity. Dr. habil. Thesis]. Stavropol, Northern-Caucasus State University, 2013. 34 p. (in Russian).

29. Linec G. I., Fomin L. A., Govorova S. V., Medenec V. V. *Postroenie mul'tiservisnyh setej na osnove funkcional'nyh preobrazovanij trafika* [Creation of Multiservice Networks on the Basis of the Functional Transformations of Traffic]. *Infokommunikacionnye Tehnologii*, 2014, vol. 12, no. 4, pp. 40-45 (in Russian).

Статья поступила 1 мая 2015 г.

Информация об авторах

Ушанев Константин Владимирович – соискатель ученой степени кандидата технических наук. Адъюнкт кафедры сетей и систем связи космических комплексов Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. Область научных интересов: способы обеспечения качества обслуживания трафика сложной структуры. Тел.: +7 981 832 34 84. E-mail: stan_007@mail.ru

Макаренко Сергей Иванович – кандидат технических наук, доцент. Доцент кафедры сетей и систем связи космических комплексов Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. Область научных интересов: устойчивость сетей и систем связи к преднамеренным деструктивным воздействиям; радиоэлектронная борьба; информационное противоборство. Тел.: +7 981 820 49 90. E-mail: mak-serg@yandex.ru

Адрес: 197198, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д. 13.

Analytical- Simulation Model of Functional Conversion of Complex Traffic

Ushanev K. V., Makarenko S. I.

Problem statement: Structural complexity as the property of the network connection traffic updates the issues of sustainability of their operation by improving the timeliness of traffic in network nodes. Known methods of increasing sustainability which are based on adapting the communications network node equipment to the traffic parameters, are well studied and described in the literature. Methods of increasing sustainability which are based on adapting of traffic to the network parameters are less studied. **The aim** of this research is to increase the sustainability of communication networks by conversion of structural complexity traffic to a traffic corresponding to the elementary stream. The criterion of traffic structural complexity is the coefficient of variation of time intervals between packages. As a model of traffic with structural complexity used the stream having Pareto distribution and the coefficient of variation more than one. **The method used:** conversion of traffic structure is based on use of the known scientific and methodical device of functional conversion of laws of density of probability. **Novelty** of this issue is the accounting of indicators of time of a delay when conversion a traffic and probability of refusal in service of a package because of overflow of the buffer when performing transformation. **Result:** the presented decision will allow to prove the volume of the buffer and value of intensity of sending packages of the converted traffic taking into account the above indicators of process of conversion. Justification of these parameters will be used when developing the converter of a traffic. **The practical significance.** The converter as a part of the nodal equipment in a communication network will allow to increase timeliness of service of the converted traffic in comparison with a traffic of complex structure by 6-8 times. It will lead to growth of stability of a network on the values proportional to timeliness increase.

Key words: communications network, traffic, structural complexity of traffic, conversion of traffic structure, quality of service.

Information about Authors

Ushanev Konstantin Vladimirovich – doctoral candidate. The postgraduate student of the Department of Networks and Communication Systems of Space Systems. A. F. Mozhaisky Military Space Academy. Field of research: structural complexity of the traffic; conversion of traffic structure; coefficient of variation of time intervals between packages. Tel.: +7 981 832 34 84. E-mail: stan_007@mail.ru

Makarenko Sergey Ivanovich – Ph.D. of Engineering Sciences, Docent. Associate Professor at the Department of Networks and Communication Systems of Space Systems. A. F. Mozhaisky Military Space Academy. Field of research: stability of network against the purposeful destabilizing factors; electronic warfare; information struggle. Tel.: +7 981 820 49 90. E-mail: mak-serg@yandex.ru

Address: Russia, 197198, Saint-Petersburg, Zhdanovskaya str., 13.