

На заключительном этапе проводим расчёт максимальной скорости внешней работы сетевого оборудования по формуле:

$$V_{\text{макс. внеш}} = V_{\text{ср}} * (S_{\text{вн}} * M_{\text{свЕ1}} + S_{\text{вн}} * M_{\text{свFI}} + S_{\text{вн}} * M_{\text{свGI}} + C_{L3}).$$

Представленная методика позволяет рассчитывать объём оборудования, а также количество, тип и протяжённость линий связи для построения внутренних телекоммуникационных сетей связи повседневных пунктов управления.

Описанная методика легла в основу построения имитационной модели узла связи повседневного пункта управления военного округа.

#### Список используемых источников

1. Токарев А. В. Изменение современной модели мультисервисной Metro-Ethernet сети оператора // Технологии и средства связи. 2012. № 3.
2. Баркова И. В., Методика расчёта объёмов оборудования и линий связи при построении сетей широкополосного доступа // Технологии информационного общества. 2013. № 7. С. 12–15.
3. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. М.: Наука, Физматгиз. 1969. 576 с.
4. Лобанов С. Н., Тевс О. П., Черенков В. Е. Формирование структуры перспективных узлов связи пунктов управления специального назначения // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. IV Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. научн. ст. в 2 т. СПб.: СПбГУТ, 2015. С. 1332–1338.
5. Иванов В. Г., Панихидников С. А., Тевс О. П. Организационно-технические аспекты построения перспективных узлов связи центров управления специального назначения // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. IV Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. научн. ст. в 2 т. СПб.: СПбГУТ, 2015. С. 1255–1260.

## ВАРИАНТЫ РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ В УЗЛАХ КОММУТАЦИИ МУЛЬТИСЕРВИСНОЙ СЕТИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

**С.М. Одоевский, Е.А. Сорокина, В.П. Хоборова**

*Рассматриваются варианты расчета показателей качества обслуживания с использованием аналитических и статистических методов с учетом пульсирующего характера трафика, исследуемого посредством самоподобных процессов, для оценки качества обслуживания информационных потоков в мультисервисной сети специального назначения.*

*Ключевые слова: мультисервисная сеть, пульсации трафика, самоподобные процессы, среднее время ожидания, система массового обслуживания.*

## ACCOUNTING VARIANTS OF SERVICE QUALITY METRICS OF INFORMATION FLOWS AT MULTISERVICE NET'S SPECIAL APPOINTMENT SWITCHING NODES

Odoevsky S., Sorokina E., Khoborova V.

*Accounting variants of service quality metrics of information flows by means of analysis and statistic methods are consider in the article in order to value quality of service in multiservice net of special appointment.*

*Keywords: multiservice net, traffic pulsation, self-similar process, average wait time, queuing system.*

В системе управления войсками между органами управления сформировались четыре основных вида информационного обмена: речевой, данными, факсимильный (в том числе и графический), а также передача видеoinформации. Передаваемая информация образует поток сообщений (далее по тексту – поток). Потоки, циркулирующие в мультисервисной сети (МС) военного назначения, характеризуются неоднородностью и существенной нестационарностью. Они представляют собой сумму множества потоков, поступающих в МС от различных источников информации, потоки мультимедийных сообщений, характеризующиеся пульсирующим характером трафика [1]. Подобное поведение трафика в сети исследуется с помощью самоподобных процессов.

В работах [2, 3] приведены подробные доказательства структуры самоподобного трафика, появляющегося вследствие объединения новых и существующих технологий передачи и коммутации с разнородными потоками сервисов и приложений, а также причины проявления самоподобных свойств. Как следствие, проявлением этих причин является выраженные всплески интенсивности трафика. Появление мощных пиковых скачков интенсивности в часы наибольшей нагрузки приводит к резкому увеличению потерь и задержек пакетов в сети, что обуславливает значительные ухудшения показателей качества обслуживания (ПКО) информационных потоков. Для принятия своевременных мер по предотвращению подобных явлений необходимо уметь прогнозировать их влияние на ПКО и производительность мультисервисной сети [4], а для этого нужны соответствующие математические модели и методы.

Учитывая данные факторы, в статье представлены варианты расчета показателей качества обслуживания информационных потоков в узлах коммутации мультисервисной сети специального назначения.

В качестве математических инструментов для оценки качества обслуживания информационных потоков рассмотрим аналитические и статистические методы.

В роли оцениваемого показателя качества обслуживания информационных потоков будем использовать среднее время ожидания начала обслуживания  $T_{ож}$  в типовом отдельно взятом узле коммутации на выходе одного из портов. Рассмотрим зависимости данного показателя от нагрузки  $\rho$  на рассматриваемый выходной порт, используя модель одноканальной системы массового обслуживания (СМО) с ожиданием при разных законах распределения входного и выходного информационных потоков.

Для упрощения и большей общности результатов будем представлять рассчитываемую величину времени ожидания начала обслуживания  $T_{ож}$  в нормированном виде

$$q = T_{ож}/T_{об}, \quad (1)$$

где  $T_{об}$  – среднее время обслуживания.

В качестве законов распределения времени обслуживания будем рассматривать экспоненциальное (типа  $M$  в обозначениях Кендала) и детерминированное (типа  $D$ ) распределения.

В качестве законов распределения интервалов времени между очередными пакетами для входных потоков рассмотрим экспоненциальное распределение (типа  $M$ ), как пример традиционного потока, и распределение Парето (типа  $P$ ) в качестве варианта представления современного самоподобного потока, для моделирования которого также рассмотрим поток типа броуновского движения (типа  $fbm$ ) [1].

Для расчета зависимости относительного среднего времени ожидания начала обслуживания  $q$  от нагрузки  $\rho$  при поступлении на вход коммутатора традиционного потока с экспоненциальным распределением при экспоненциальном распределении времени обслуживания можно воспользоваться аналитическим выражением [1], справедливым для СМО типа  $M/M/1$ :

$$= \rho/(1 - \rho). \quad (2)$$

Для расчета зависимости относительного среднего времени ожидания начала обслуживания  $q$  от нагрузки  $\rho$  при поступлении на вход коммутатора традиционного потока с экспоненциальным распределением при детерминированном распределении времени обслуживания можно воспользоваться аналитическим выражением [1], справедливым для СМО типа  $M/D/1$ :

$$q = \frac{\rho}{2(1 - \rho)}. \quad (3)$$

Для расчета зависимости относительного среднего времени ожидания начала обслуживания  $q$  от нагрузки  $\rho$  при поступлении на вход коммутатора современного самоподобного потока с параметром Херста  $H$  при экспоненциальном распределении времени обслуживания можно воспользоваться аналитическим выражением [1], справедливым для СМО типа  $fbm/M/1$ :

$$q = \frac{\rho^{1/2(1-H)}}{(1-\rho)^{H/(1-H)}}. \quad (4)$$

Результаты расчета зависимостей относительного среднего времени ожидания начала обслуживания  $q$  от нагрузки  $\rho$  для СМО типов  $M/M/1$ ,  $M/D/1$

и  $fbm/M/1$  (при трех значениях параметра Херста  $H = 0,5$ ,  $H = 0,7$  и  $H = 0,9$ ) с помощью аналитических выражений (2)–(4) представлены на рис. 1.

Из рис. 1 видно, что результаты расчетов для СМО типа  $M/M/1$  для типового входного потока с экспоненциальным распределением совпадают с результатами расчетов для  $fbm/M/1$  при  $H = 0,5$  для вырожденного самоподобного потока на входе, что подтверждает корректность аналитической модели (4).

При  $H > 0,5$ , как видно из графиков, самоподобный трафик в области большой нагрузки, превышающей некоторую величину  $\rho_h$ , приводит к значительному увеличению длины очереди, а в области малой нагрузки – к уменьшению.

Первое явление соответствует известному свойству коррелированного пульсирующего трафика, из-за которого приходится предусматривать накопители гораздо большей емкости в узлах коммутации, чем это требуется на основании расчетов классической теории.

А второе явление характерно для условий сильной корреляции входного потока с выходным при низкой нагрузке. Причем в пределе при  $H \rightarrow 1$  в области значений  $\rho < \rho_h$  длина очереди стремиться к нулю. На первый взгляд, это кажется нереальным, поскольку в таком случае каждый очередной пакет должен появляться на входе устройства коммутации только тогда, когда очередь пустая, т. е. не раньше, чем закончится обслуживание предыдущего пакета. Но это действительно возможно, например, при детерминированных синхронных потоках пакетов или в системах с быстрой обратной связью, «отслеживающей» или прогнозирующей моменты окончания обработки одних пакетов перед подачей на вход следующих.

Представляет интерес оценить значение пороговой нагрузки  $\rho_h$ .

Приравняв выражения (2) и (3), получим уравнение, которое после ряда алгебраических преобразований (допустимых при  $H > 0,5$ ), можно привести к виду:

$$\ln(\rho_h) = 2 * \ln(1 - \rho_h). \quad (5)$$

Следует отметить, что в уравнении (5) параметр Херста отсутствует, т. е. искомое значение пороговой нагрузки  $\rho_h$  от него не зависит (за исключением условия  $H > 0,5$ , так как при  $H = 0,5$  зависимости (2) и (3) совпадают не в одной точке, а при всех  $\rho = 0 \dots 1$ ).

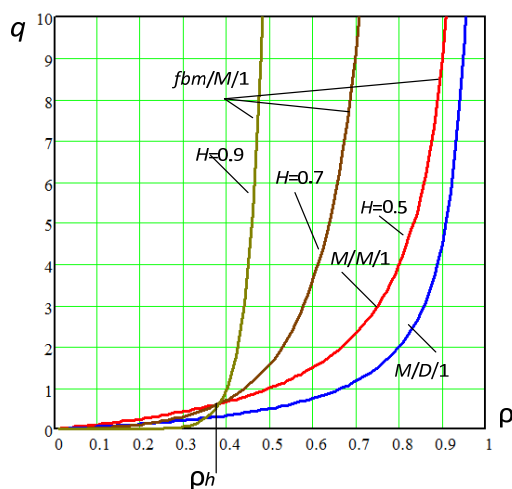


Рис. 1. Зависимости относительного среднего времени ожидания начала обслуживания  $q$  от нагрузки  $\rho$ , полученные с помощью аналитических выражений

Решая уравнение (5) относительно  $\rho_h$ , получим:

$$\rho_h = \frac{3-\sqrt{5}}{2} \approx 0,382. \quad (6)$$

Интересно, что выражение (6) соответствует известной Золотой пропорции, характеризуемой числом Фибия:

$$\Phi = \frac{1+\sqrt{5}}{2}. \quad (7)$$

При этом:

$$\rho_h = \frac{1}{1+\Phi}. \quad (8)$$

В связи с тем, что самоподобный трафик типа  $fbm$  и СМО типа  $fbm/M/1$  при  $H > 0,5$  являются математической абстракцией, к которой современные потоки и процессы их обслуживания стремятся только в пределе при длительности пульсаций трафика  $t_n \rightarrow \infty$ , представляет интерес использование других моделей, в частности, основанных на распределении Парето, которое при некоторых значениях своих параметров обладает рядом свойств самоподобия, характерных для современных потоков [5, 6].

Однако точные аналитические модели для СМО типа  $P/M/1$  или  $P/D/1$  не известны. Известны лишь некоторые граничные и приближительные оценки для СМО типа  $P/P/1$  [7]. Поэтому представляет интерес использование статистических моделей с использованием сред моделирования *GPSS* или *MathCad*. Для получения оценок только математического ожидания и дисперсии достаточно использовать программный пакет *MathCad*.

В то же время точные статистические модели самоподобных типов трафика неизвестны. Неизвестна также статистическая модель СМО типа  $fbm/M/1$  (несмотря на наличие аналитических оценок некоторых ее характеристик) [3]. Но существуют различные приближенные модели. Можно считать такой приближенной моделью и модель, основанную на распределении Парето [7].

Рассмотрим статистические свойства распределения Парето, которые позволят судить о его сходстве с теоретическим самоподобным трафиком с заданным значением показателя Херста.

Известно, что для того, чтобы охарактеризовать принадлежность процесса к классу процессов, имеющих долгосрочную зависимость или самоподобие, необходимо рассмотреть агрегированные из него процессы, построенные с помощью усреднения значений исходного процесса на непересекающихся временных интервалах:

$$X^{(n)} = \{X_k^{(n)} : k = 1, 2, 3, \dots\}; X_k^{(n)} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n X_{(k-1) \cdot n + j}. \quad (9)$$

где  $n$  – длина непересекающихся интервалов.

При этом для самоподобных процессов с увеличением  $n$  убывание дисперсии агрегированных процессов происходит гораздо медленнее, чем для традиционных потоков:

$$D(X^{(n)}) \approx \frac{a}{n^\beta}; \quad 0 \leq \beta \leq 1; \quad n \rightarrow \infty. \quad (10)$$

где для традиционных потоков обычно  $\beta = 1$ , а для самоподобных  $\beta < 1$ .

Для сравнения теоретической зависимости (10) с результатами статистического моделирования в среде MathCad были разработаны программы-функции расчета дисперсии агрегированных процессов для экспоненциального распределения и для распределения Парето:

1) программа-функция расчета дисперсии агрегированных процессов  $DoM(\rho, n)$  для экспоненциального распределения с параметром  $\rho$ ;

2) программа-функция расчета дисперсии агрегированных процессов  $DoP(\rho, H, n)$  для распределения Парето с параметрами  $\rho$  и  $H$ .

При генерации распределения Парето параметр нагрузки (интенсивности)  $\rho$  и параметр Херста  $H$  пересчитывались в обычные параметры распределения Парето  $\alpha$  и  $k$  в соответствии с обратной функцией распределения Парето по формулам:

$$\alpha = 3 - 2 \cdot H, \quad (11)$$

$$k = \frac{\alpha - 1}{\alpha \cdot \rho}. \quad (12)$$

Результаты расчета зависимостей дисперсии агрегированных процессов  $D$  от длины непересекающихся интервалов  $n$  для различных потоков при  $\rho = 0,5$  приведены на рис. 2.

Результаты расчетов путем статистического моделирования распределения Парето отмечены на рис. 2 символом «o». Как видно из рис. 2, только для вырожденного случая самоподобного трафика при  $H = 0,5$ , соответствующего традиционному трафику с экспоненциальным распределением (нижняя линия), результаты статистического моделирования совпадают с аналитическими результатами. При больших значениях показателя Херста зависимость дисперсии агрегированных процессов от длины непересекающихся интервалов для распределения Парето несколько отличается, однако в целом долгосрочная зависимость для данного распределения подтверждается.

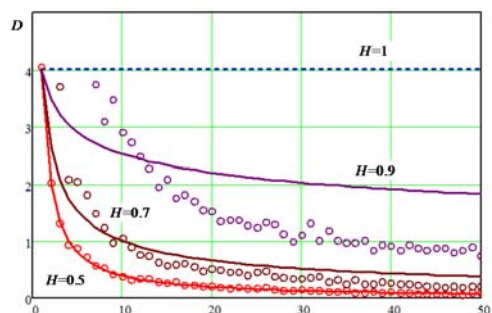


Рис. 2. Зависимости дисперсии агрегированных процессов при  $\rho = 0,5$  от длины непересекающихся интервалов  $n$

Для сравнения с результатами аналитического моделирования (см. рис. 1) в среде MathCad были разработаны статистические модели СМО с традиционными потоками  $M/M/1$  и  $M/D/1$ , а вместо СМО с самоподобным трафиком  $fbm/M/1$  была разработана статистическая модель СМО  $P/M/1$  с входным потоком, соответствующим распределению Парето. Указанные модели были разработаны в виде программ-функций вычисления относительного среднего времени ожидания начала обслуживания  $q$  в зависимости от нагрузки  $\rho$  :

$$\text{СМО } M/M/1: q(\rho) = LsMM(\rho), \text{ СМО } M/D/1: q(\rho) = LsMD(\rho)$$

$$\text{СМО } P/M/1: q(\rho) = LsPM(\rho, H), \text{ СМО } P/D/1: q(\rho) = LsPD(\rho, H).$$

Результаты расчетов с использованием приведенных выше статистических моделей приведены на рис. 3 совместно с результатами расчетов с использованием аналитических моделей.

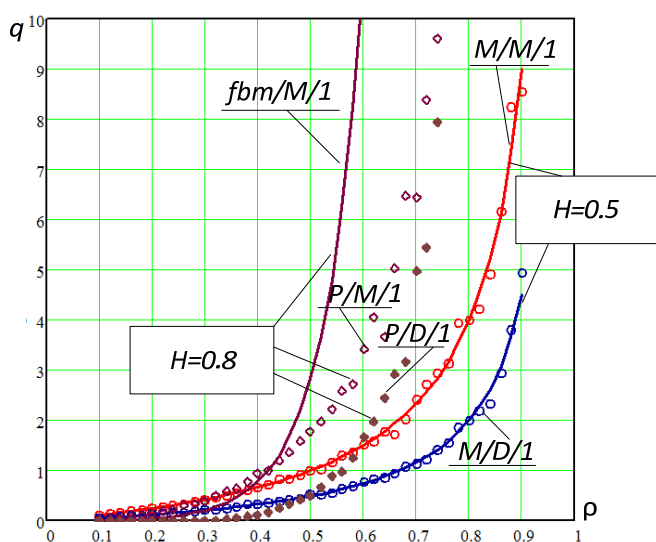


Рис. 3. Зависимости относительного среднего времени ожидания начала обслуживания  $q$  от нагрузки  $\rho$ , полученные с помощью имитационного моделирования

Как видно из рис. 3, результаты расчетов на основе имитационных моделей СМО типа  $M/M/1$  и  $M/D/1$  практически совпадают с результатами на основе аналитических моделей. А результаты расчетов для аналитической модели СМО типа  $fbm/M/1$  несколько отличаются от результатов для имитационной модели  $P/M/1$ .

Таким образом, СМО на основе распределения Парето намного точнее отражает самоподобные свойства трафика и процессы обслуживания современных потоков, чем традиционное экспоненциальное распределение, что предлагается учитывать при оценке качества

обслуживания информационных потоков в мультисервисных сетях специального назначения.

#### Список используемых источников

1. Крылов В. В., Самохвалова С. С. Теория телетрафика и ее приложения. СПб.: БХВ–Петербург, 2005. 288с.
2. Шелухин О. И., Тенякшев А. М., Осин А. В. Фрактальные процессы в телекоммуникациях. М.: Радиотехника, 2003. 479 с.
3. Шелухин О. И., Осин А. В., Смольский С. М. Самоподобие и фракталы. Телекоммуникационные приложения. М.: Физматлит, 2008. 368 с.
4. Олифер В. Г., Олифер Н. А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: учебник для вузов. СПб.: Питер, 2010. 944с.

5. Джамалипур А. Беспроводной мобильный интернет: архитектура, протоколы и сервисы: пер. с англ. под ред. к. т. н. В. К. Орлова. М.: Техносфера, 2009. 496 с.

6. Фомин Л. А. Причины появления долговременной зависимости в пакетных сетях // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2007. Т. 10. № 6. С. 14–18.

7. Гель В. Э., Сорокина Е. А., Щедров А. С. Обоснование метода для расчета показателей качества обслуживания мультисервисной сети доступа специального назначения // Труды IX Российской научно-технической конференции «Новые информационные технологии в системах связи и управления». 2–3 июня 2010 г., Калуга: Изд-во научной литературы Н. Ф. Бочкаревой, 2010. С. 343–347.

## **ОБОСНОВАНИЕ ОПЕРАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ К ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫМ СЕТЯМ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ, ФУНКЦИОНИРУЮЩИХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕСУРСОВ ЕСЭ РФ, В УСЛОВИЯХ КОНФЛИКТА В КИБЕРПРОСТРАНСТВЕ**

**А.К. Сагдеев, А.Г. Чукариков**

*В статье предложен принципиально новый подход к оцениванию свойств систем – формирование взаимосвязанной системы показателей, который позволит, при варьировании показателями, находить баланс системы и выполнять основные функции по предназначению. Разработаны способы моделирования топологических и структурных однородностей, выходные данные которых используются в разработанных способах оценки эффективности боевых кибернетических систем при реализации оборонительных и наступательных действий.*

*Ключевые слова: боевая кибернетическая система, конфликт, киберпространство, тактико-технические требования.*

## **JUSTIFICATION OF OPERATIONAL AND TECHNICAL REQUIREMENTS ON INFORMATION AND TELECOMMUNICATIONS NETWORKS, USING RESOURCES THE RUSSIAN FEDERATION'S UTN IN THE CONFLICT AT CYBERSPACE**

**Chukarikov A., Sagdeev A.**

*This paper proposes completely new approach to the evaluation of properties of systems – the formation of a coherent system of indicators that will, at varying rates, to balance the system and perform basic functions as intended. Developed methods of modeling of topological and structural uniformity, the output of which are used to develop a method for evaluating the effectiveness of combat cybernetic systems in the implementation of defensive and offensive actions.*

*Keywords: combat cybernetic system, conflict, cyberspace, tactical and technical requirements.*