

мого, об оценках по каждому из направлений профессиональных знаний, об уровне стабильности знаний тестируемого. Кроме того, выполняется выгрузка файла протокола с подробным описанием результатов тестирования в Microsoft Excel.

Литература

1. Жилияков Е.Г., Белов С.П., Игрунова С.В., Девицына С.Н., Путивцева Н.П. Системная модель направлений профессиональной деятельности в сфере информационно-коммуникационных технологий. – "Известия ОрелГТУ.", Информационные системы и технологии, 2009, № 5.

2. Жилияков Е.Г., Путивцева Н.П., Щербинина Н.В. Вариационный метод решения обратной задачи экспертного оценивания при парных сравнениях. - «Вопросы радиоэлектроники», сер. РЛТ, 2007, вып. 2

3. Питмен Э. Основы теории статистических выводов М, Мир, 1986

Статья поступила 09.12.2011

К.т.н., доц. И.А. Сидоренко, О.С. Пчельникова
(НИУ «БелГУ», ООО «Инженерные системы»)

I.A. Sidorenko, O.S. Pchelnikova

**КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
САМОПОДОБНОГО ТРАФИКА**

COMPUTER SIMULATION OF SELF-SIMILAR TRAFFIC

В статье изложен метод генерации самоподобного трафика на основе имитационной модели мультисервисной сети доступа. Предложен способ выбора параметров распределения Парето для адекватного моделирования различного вида трафика.

In this paper we present a method for generating self-similar traffic based on a simulation model of multi-access network. A method for choosing the parameters of the Pareto distribution for adequate modeling of different types of traffic.

Ключевые слова: моделирование, агентное имитационное моделирование, самоподобность трафика сети связи, трафик сети доступа, программа AnyLogic.

Key words: simulation, self-similar traffic networks, agent-based modeling, traffic access network, the program AnyLogic.

Введение

Несмотря на существенное увеличение скорости передачи информационных потоков в цифровых сетях связи, по-прежнему нерешенной остается задача обеспечения качества телекоммуникационных услуг, предоставляемых клиентам. Многочисленные исследования, проведенные как за рубежом, так и в нашей стране показали, что обслуживаемые мультисервисными сетями связи потоки трафика обладают свойством самоподобия [1-3,9,10]. Трафик, обладающий самоподобием, вызывает отказы коммутационного оборудования при уровне загрузки в 1,5-2 раза меньшем, чем телефонный трафик с Пуассоновским законом распределения [8-10]. Этот факт приводит к снижению реальной скорости передачи информации по каналам связи, негативно сказывается на качестве предоставляемых населению услуг и, как следствие, приводит телекоммуникационные компании к убыткам. Нагрузку на транспортную сеть создает сеть доступа, аккумулирующая трафик от большого числа обслуживаемых клиентов, получающих различные виды услуг. В связи с этим актуальной является задача оценки и прогнозирования самоподобных свойств мультисервисного трафика сети доступа, решение которой позволит оптимизировать структуру и обосновать требования к параметрам и характеристикам коммутационного оборудования транспортной сети. Для решения этой задачи может быть использован метод компьютерного имитационного моделирования, который позволяет исследовать степень самоподобия трафика различных приложений. При этом необходимо иметь возможность формировать трафик с заданной степенью самоподобия, чтобы обеспечить адекватность имитационной модели реальным ситуациям, возникающим при эксплуатации мультисервисных сетей.

Теоретические основы моделирования самоподобного трафика

Математически дискретный самоподобный процесс определяется следующим образом [8]: пусть задан временной процесс $X = \{X_n, n \in Z^+\}$, для которого определим агрегированный временной процесс $X^{(m)} = \{X_n^{(m)}, n \in Z^+\}$, полученный путем усреднения временного процесса X на непересекающихся соседствующих блоках длиной m :

$$X_n^{(m)} = \frac{1}{m} \sum_{i=nm-(m-1)}^{nm} X_i \quad (1)$$

ПРИКЛАДНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Процесс X называется точно самоподобным с параметром β ($0 < \beta < 1$), если для $m \in \mathbb{Z}$ выполняются условия (2) и (3).

$$\bullet \text{ дисперсия } \text{Var}[X^{(m)}] = \frac{\text{Var}[X]}{m^\beta} \quad (2)$$

$$\bullet \text{ функция автокорреляции } R(k, X^{(m)}) = R(k, X) \quad (3)$$

Существует другой класс самоподобных процессов – так называемых асимптотически самоподобных процессов. Процесс X называется асимптотически самоподобным, если для больших k , при $m \rightarrow \infty$ выполняются условия (4) и (5).

$$\bullet \text{ дисперсия: } \text{Var}[X^{(m)}] = \frac{\text{Var}[X]}{m^\beta} \quad (4),$$

$$\bullet \text{ функция автокорреляции: } R(k, X^{(m)}) \rightarrow R(k, X) \quad (5)$$

Основными отличительными свойствами самоподобного трафика являются [8]:

1. медленное убывание дисперсии при увеличении периода наблюдения;
2. наличие долгосрочной зависимости (последствия);
3. флуктуационный характер спектра мощности.

Наиболее точным свойством самоподобных процессов является то, что функция автокорреляции не вырождается при $m \rightarrow \infty$, в отличие от стационарных стохастических процессов, где $R(k, X^{(m)}) \rightarrow 0$ при $m \rightarrow \infty$.

Для оценивания степени самоподобия трафика в сети используют параметр Херста (Hurst), обозначаемый буквой « H », с которым параметр β связан следующим соотношением:

$$\beta = 2(1-H) \quad (6)$$

Значение $H=0.5$ означает отсутствие самоподобности, а значения H близкие к 1 соответствуют высокой степени самоподобия. Исследование трафика реальных мультисервисных сетей показывают, что значение параметра Херста находится в диапазоне 0.7 - 0.85.

Существуют два основных подхода к моделированию самоподобных процессов:

1. на основе использования фрактального Броуновского движения [4,8].
2. на основе метода Мандельброта [2,5] (подход, предусматривающий использование нескольких независимых ON-OFF источников, у которых закон чередования включенного и выключенного

ченного состояний распределен по закону Парето, плотность распределения которого задается функцией вида:

$$f(x) = \frac{\alpha}{v} \left(\frac{v}{x} \right)^{\alpha+1}, \text{ при } x > v \text{ и } \alpha > 0. \quad (7)$$

Здесь: α - параметр формы, характеризующий, будет ли распределение иметь конечное или бесконечное среднее и дисперсию; v - параметр нижней границы (минимальное значение случайной величины x). Вместо распределения Парето можно использовать логнормальное распределение или распределение Вейбулла, которые относятся к классу субэкспоненциальных распределений с «тяжелыми хвостами» [8].

Соотношение между параметром α распределения Парето и параметром Херста H задается формулой:

$$H = \frac{3 - \alpha}{2} \quad (8)$$

Благодаря простоте задания параметра Херста метод Мандельброта получил наибольшее распространение при моделировании самоподобного трафика и позволяет получить реализации случайного самоподобного процесса с любой фиксированной степенью самоподобия. Однако обоснованных рекомендаций по выбору конкретных значений параметра Херста H в настоящее время нет. Более того, не ясно, как зависит значение параметра Херста от вида и объема предоставляемых телекоммуникационных услуг. Поэтому актуальной научной задачей является компьютерное моделирование самоподобного трафика сети доступа на основе учета активности клиентов, а также объема и вида предоставляемых им услуг.

Для решения этой задачи требуется выбрать методы и средства компьютерного моделирования, а также метод оценивания параметра Херста.

Разработка и исследование метода компьютерного моделирования самоподобного трафика мультисервисной сети доступа

Проведенный анализ программных средств позволил сделать вывод о перспективности программной среды AnyLogic™ – продукта компании XJ Technologies, в которой реализованы все последние достижения в области имитационного моделирования включая агентное моделирование, позволяющее сделать процесс

моделирования наглядным и интерактивным [6].

Для оценивания параметра Херста существует ряд методов: метод абсолютных моментов, оценка Витгла, метод периодограмм, оценка Хилла и др [7,8]. Метод абсолютных моментов дает достаточно точные результаты при невысоком объеме вычислений, поэтому и был выбран. Методика проверки следующая: исходная последовательность X с длиной N разделяется на блоки с длиной m . На границах блока последовательность имеет среднее значение, определяемое формулой (9).

$$\bar{X}(k) = \frac{1}{m} \sum_{i=(k-1)m+1}^{km} X_i, \quad k = 1, 2, \dots, [N/m]. \quad (9)$$

Для каждого блока необходимо рассчитать дисперсию (1) и математическое ожидание (9) для всей последовательности. После этого для каждого блока определяется момент n :

$$D_n^{(m)} = \frac{1}{N/m} \sum_{k=1}^{N/m} \left| X^{(m)}(k) - \bar{X}^n \right| \quad (10)$$

В данном выражении $n=1$ (абсолютное среднее значение). Далее строится график в логарифмическом масштабе – зависимость абсолютных моментов для последовательности от m . После чего по найденным точкам рассчитывается аппроксимирующая прямая по методу минимального среднеквадратического отклонения от экспериментальных данных. Далее необходимо найти угол наклона аппроксимирующей прямой β . По полученному значению β можно найти коэффициент самоподобия $H=1-\beta$.

Поскольку в программе AnyLogic™ не предусмотрены инструменты для математической обработки сгенерированного потока, то алгоритм, реализующий описанный метод оценки параметра Херста, был реализован в программно-прикладном продукте компании MathWorks – MATLAB®.

Структура разработанной модели представлена на рис.1. Для ее реализации был взят за основу метод Мандельброта, однако предлагается использовать источники не с одинаковой, а с различной интенсивностью. В качестве источников заявок 1-N используются ON/OFF источники, состояния которых описываются распределением Парето. Для обеспечения адекватности модели предлагается объединить однотипных клиентов в пользовательские группы. В каждой группе абонентов нагрузку создают несколько источни-

ПРИКЛАДНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

ков, имитирующих трафик различных приложений (видео-, аудио-данные, гипертекстовые документы и служебную информацию). Для каждого из этих источников задается свое значение параметра α . Чтобы определить параметр Херста для трафика различных приложений была проведена оценка степени самоподобия реальных файлов различных приложений (.htm, .mht, .avi, .wav, .mp3). Для каждого типа файлов была исследована зависимость параметра H от размера выборки и построены линейно сглаженные тренды.

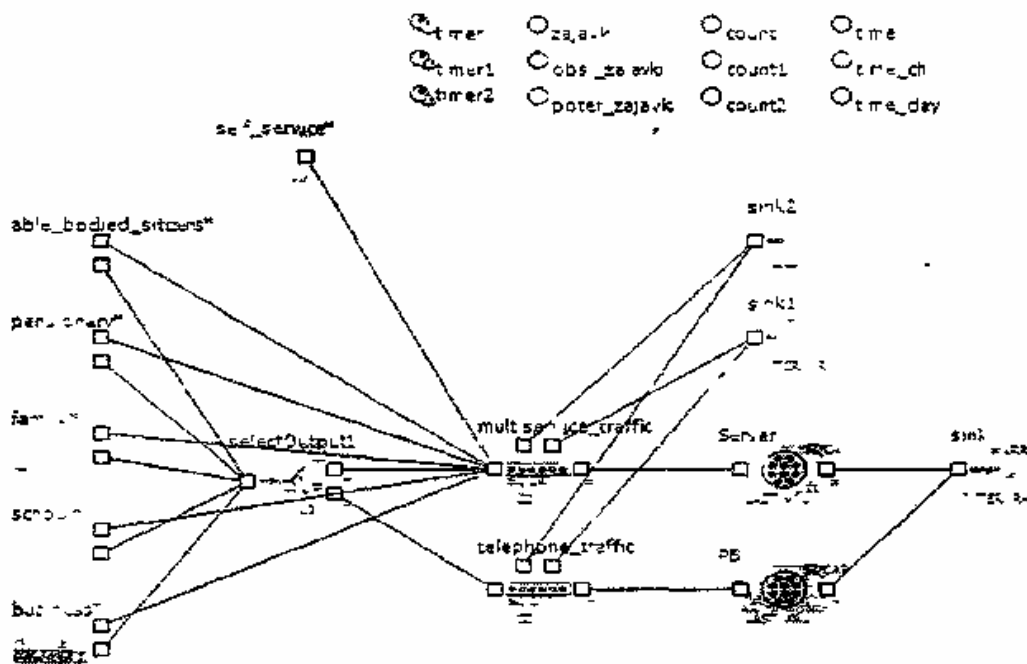


Рис.1

Структура универсальной имитационной модели сети доступа

На рис.2 для примера показан график зависимости параметра Херста от величины пакета для аудиоданных. Построение линий тренда показало, что значение параметра Херста снижается при увеличении длительности обрабатываемого отрезка для потока видеоданных и гипертекстовых документов и возрастает для потока аудиоданных.

Не обнаружено закономерности изменения параметра Херста от типа файла внутри класса контента. На основании этого можно предположить, что определенные средние значения параметра Херста для трафика каждого типа можно положить в основу универсальной имитационной модели.

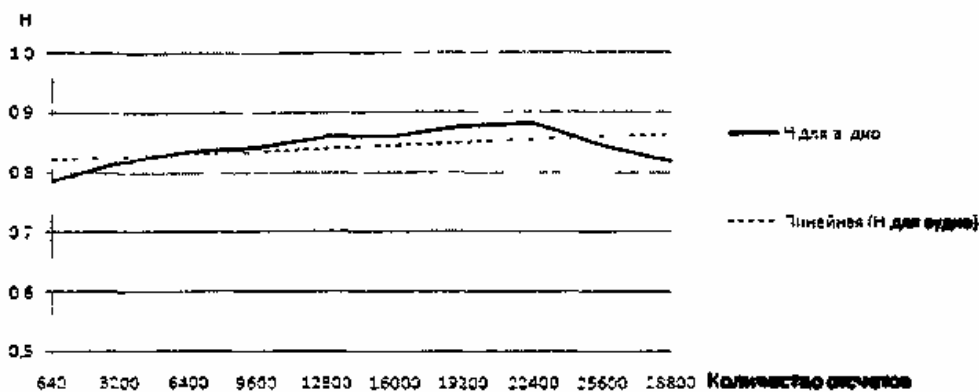


Рис. 2
График зависимости параметра Херста от величины пакета для аудиоданных

Дальнейшие вычисления были направлены на определение зависимости параметра H от изменяющегося параметра α . Для этого был проведен ряд экспериментов на имитационной модели в среде AnyLogic™, в которых был задействован один источник заявок. Интенсивность распределения изменялась для каждого эксперимента в диапазоне (0,8 - 2,0). Для каждого набора полученных в результате моделирования данных было рассчитано значение параметра Херста на сериях, длительность которых бралась в соответствии с расчетами, проведенными на основе реальных файлов.

Эти расчеты не выявили зависимости между длительностью серии и параметром H .

В соответствии с рассчитанными средними значениями параметра Херста для разнотипных файлов и определенными значениями того же параметра для различных значений интенсивности распределения, были выбраны следующие величины параметра α для моделирования трафика различных приложений (рис. 3): гипертекстовые документы – $\alpha=1,1$; видеоданные – $\alpha=1,6$; аудиоданные – $\alpha=0,8$.

Для учета информации, добавляемой к мультисервисному абонентскому трафику служебными приложениями, в каждом из классов источников был введен дополнительный источник заявок с интенсивностью распределения $\alpha=1,0$.

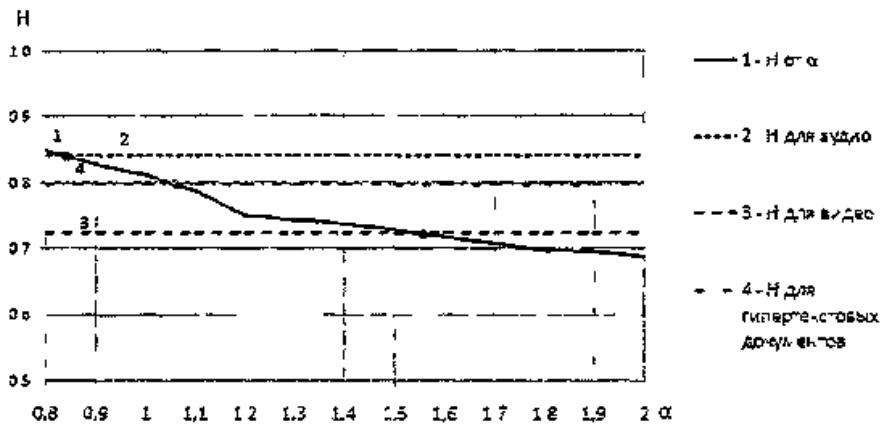


Рис. 3

Графики значений параметра Херста для трафика различных приложений и переменной интенсивности распределения Парето α .

Следующим этапом исследования было рассмотрение вопроса зависимости параметра Херста от размера пакета, в который упаковываются данные при передаче по сети. Для этого в программе MatLab 7.9.0 был написан модуль, формирующий поток данных из нескольких входных (аудио, видео, гипертекстовые и произвольная последовательность, имитирующая служебную информацию). Агрегированный поток данных оценивался на предмет самоподобия в последовательностях, длительность которых равна произведению ранее рассматриваемых длин последовательностей отдельных файлов на количество входящих в агрегированный поток последовательностей. Результат вычислений показал (рис. 4), что значение параметра Херста снижается при увеличении размера пакета и не зависит от длительности потока.

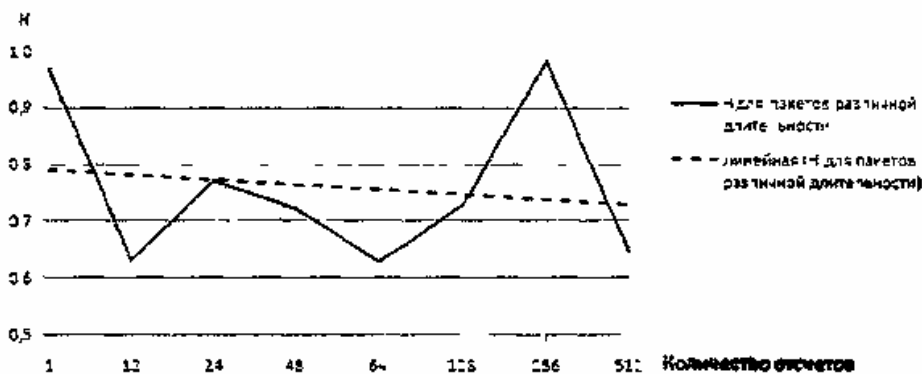


Рис. 4

График зависимости параметра Херста от размера пакета

ПРИКЛАДНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

На основе полученных результатов было проведено исследование степени самоподобия трафика, генерируемого разработанной моделью сети доступа. В соответствии с выбранными значениями параметра α была произведена подстройка модели в среде AnyLogic™ и произведен её запуск с набором источников, представленным в табл. 1. Все группы источников использовались в единичном экземпляре. Выбор комплекта источников для каждой группы осуществлялся произвольно, однако каждая группа имеет в своем составе источники каждого типа и, по необходимости, может быть подстроена.

Таблица 1

Набор источников, задействованных в модели

	Service bit	Video	Audio	Data
Able bodied citizens	+	+	+	+
Pensionary	+	+	+	+
Family	+	+	+	+
School	+	-	-	+
Business	+	-	-	+

Результат моделирования оценивался на предмет самоподобия в последовательностях той же длительности, что и агрегированный трафик. Результат представлен в табл. 2.

Таблица 2

Значения параметра Херста для набора модельных данных

Количество бит в последовательности / Параметр Херста								
2560	12800	25600	51200	64000	76800	89600	102400	15200
0,6932	0,6913	0,6070	0,6831	0,7070	0,7015	0,6993	0,6806	0,7359
ср. знач								
0,6910								

Из графика на рисунке видно, что с увеличением длительности обрабатываемого набора данных значение параметра самоподобия возрастает. Средняя величина параметра Херста близка по значению к тому же показателю для агрегированного трафика в среде MatLab 7.9.0.

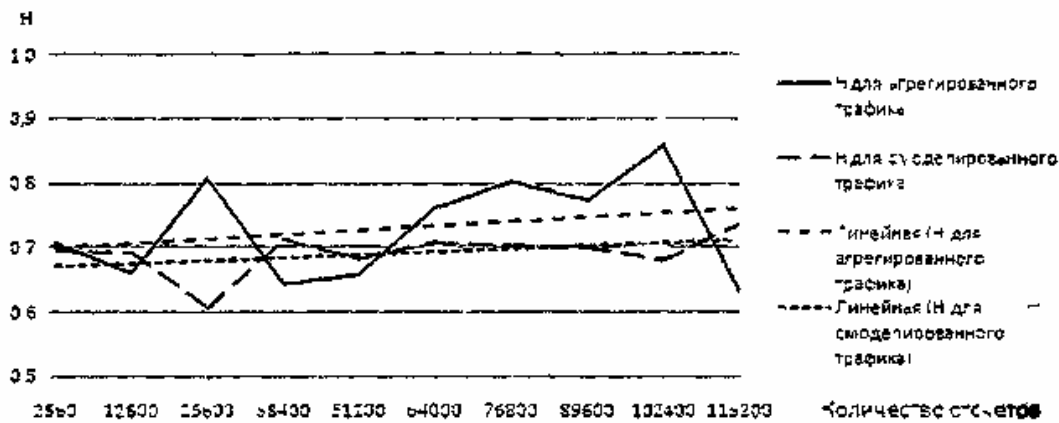


Рис. 5

График зависимости параметра Херста от длины последовательности для модельных и агрегированных данных

Дальнейший интерес представляло установление зависимости параметра Херста от числа абонентов каждой группы. Для решения этой задачи были собраны результаты моделирования при изменении количества источников каждой группы от 10 до 100 с шагом 10. При этом другие группы моделировали нагрузку только от одного абонента. Оценка величины степени самоподобия во всех случаях проводилась для последовательности отсчетов одинаковой длительности. Результаты вычислений представлены в табл. 3.

Анализ результатов моделирования свидетельствует о том, что с увеличением количества абонентов в группе возрастает и значение параметра Херста. Для групп абонентов School и Business степень самоподобия трафика выше. Возможно это объясняется более высокой степенью самоподобия трафика гипертекстовых документов по отношению к агрегированному трафику, т.к. источники мультимедийной информации отсутствовали в этих группах.

Предложенный метод генерации самоподобного трафика может быть легко адаптирован под любую структуру сети доступа, предоставляющей различные телекоммуникационные услуги клиентам. При этом клиенты могут быть поделены на произвольное число групп по ключевым признакам: перечню получаемых услуг, характеру активности в течение суток или заданного интервала времени, социальным группам, пропускной способности линий доступа и т.п. Результаты компьютерного моделирования самоподобного трафика

Таблица 3
Зависимость параметра Херста от числа абонентов каждой группы

Группа абонентов	Параметр Херста									
	Количество абонентов в группе									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Able bodied sitizens	0,8075	0,8226	0,8215	0,8495	0,8023	0,8879	0,8297	0,8582	0,8564	0,8334
Pensionary	0,8081	0,8226	0,8415	0,8313	0,8023	0,8116	0,8262	0,8466	0,8474	0,8474
Family	0,8081	0,8105	0,8742	0,8313	0,8297	0,8117	0,8182	0,8602	0,8672	0,8864
School	0,8473	0,8489	0,7858	0,7291	0,8004	0,8827	0,8488	0,8247	0,8680	0,9971
Business	0,9091	0,8491	0,8678	0,8519	0,7981	0,9106	0,9235	0,9090	0,8789	0,8270

могут быть полезны как на этапе проектирование сетей доступа, так и при оценке эффективности различных стратегий по предоставлению услуг населению.

Литература

1. Leland W.E., Taqqu M.S., Willinger W., Wilson D.V. On The Self-Similar Nature Of Ethernet Traffic. ACM SIGCOMM'93. 1993.
2. Kulikovs M., Petersons E. Packet Loss Probability Dependence on Number of ON-OFF Traffic Sources in OPNET. – "Electronics and Electrical Eng.", 2008, № 5.
3. Jeong H.-D. J., McNickle D., Pawlikowski K. Fast Self-Similar Teletraffic Generation Based on FGN and Wavelets. IEEE ICON'99. 1999.
4. Mandelbrot B.B. A Fast Fractional Gaussian Noise Generator. – "Water Resources Research .", 1971, № 7.
5. Ulanovs P. Modeling Methods of Self-similar Traffic for Network Performance Evaluation . – "Scientific Proc. of RTU", Series 7, Telecommunications and Electronics., 2002.
6. Карпов Ю.Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. СПб., БХВ-Петербург. 2005. 400 с. с илл.
7. Крылов В.В., самохвалова С.С. Теория телетрафика и ее приложения. СПб., БХВ-Петербург, 2005. 288 с.. с илл.
8. Столингс В. Современные компьютерные сети. 2-е изд. СПб.; Питер, 2003. 783 с. с илл.
9. Шелухин О.И., Осин А.В., Урьев Г.А. Результаты экспериментальных исследований сетевого трафика телекоммуникационной сети. – "Теоретические и прикладные проблемы сервиса", 2005, № 4, с. 90 – 95.
10. Шелухин О.И. Мультифракталы. Инфокоммуникационные приложения. М., Горячая линия-Телеком, 2011. 576 с. с илл.

Статья поступила 09 12 2011