DOI 10.31891/2307-5732-2019-269-1-158-164
УДК 621.395: 621.372

Т.М. МАНСУРОВ
Азербайджанский технический университет, г. Баку
Р.А. ГАНИФАЕВ
Национальная академия авиации, г. Баку

АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ОЦЕНОК СИСТЕМЫ FBM/D/1 ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ МУЛЬТИСЕРВИСНОЙ СЕТИ

В работе указано, что конвергенция телекоммуникационных сетей связана с применением новых технологий и расширением спектра оказываемых услуг, которая приводит к существенным изменениям характеристик обслуживаемого трафика. В свою очередь, они влияют на пропускную способность этой сети. С целью решения задачи оценки максимальной интенсивности нагрузки, обслуживаемой мультисервисной сетью с заданными параметрами качества, разработана имитационная модель одноканальной системы массового обслуживания самоподобного трафика с разными законами распределения длительности обслуживания пакетов, проведено статистическое моделирование среднего количества требований в системе, проанализированы их результаты и построены зависимости средней длины очереди для разных моделей систем массового обслуживания при определенных значениях коэффициента Херста. Представленные оценки можно использовать в научных исследованиях для решения задачи качества обслуживания мультисервисной сети, но как показано аналитическим исследованием, что при значении коэффициента Херста H=0,5 из них получается известный результат для системы типа M/M/1. Оценки Норроса показывают степень влияния величины коэффициента Херста на параметры качества обслуживания. Однако результат Норроса, полученный в предположении постоянной длительности обслуживания потока вызовов, дают оценки параметров качества обслуживания, характерные для экспоненциального закона распределения длительности обслуживания, а не регулярного. Работа представляет интерес для широкого круга специалистов, занимающихся анализами точности оценки системы fBM/D/1 для решения задачи качества обслуживания мультисервисной сети при различных законах распределения длительности обслуживания пакетов.

Ключевые слова: *качества обслуживания, самоподобный трафик, имитационное моделирование, параметр Херста, система массового обслуживания, мультисервисная сеть.*

T.M. MANSUROV
Azerbaijan Technical University, Baku
R.A. GANIFAYEV
National Academy of Aircraft, Baku

THE ANALYSIS OF ACCURACY OF ESTIMATES OF FBM/D/1 SYSTEM FOR THE SOLUTION OF THE PROBLEM OF QUALITY OF SERVICE OF MULTISERVICE NETWORK

In work it is specified that convergence of telecommunication networks it is connected with use of new technologies and expansion of a range of the rendered services which leads to significant changes of characteristics of the served traffic. In turn, they influence the capacity of this network. For the purpose of the solution of a problem of assessment of the maximum intensity of the loading served by multiservice network with the set quality parameters the simulation model of a single-channel system of mass service of self-similar traffic with different laws of distribution of duration of service of packages is developed, statistical modeling of average number of requirements in a system is carried out, their results are analysed and dependences of average length of turn for different models of systems of mass service at certain values of coefficient of Hurst are constructed. The presented estimates can be used in scientific research for the solution of a problem of quality of service of multiservice network, but as shown an analytical research that at value of coefficient of Hurst H=0.5 from them the known result for the M/M/1 system turns out. Norros's estimates show extent of influence of size of coefficient of Hurst on parameters of quality of service. However Norros's result received in an assumption of constant duration of service of a stream of calls give the estimates of parameters of quality of service characteristic of the exponential law of distribution of duration of service, but not regular. Work is of interest for a wide range of the experts who are engaged in analyses of accuracy of assessment of fBM/D/1 system for the solution of a problem of quality of service of multiservice network at various laws of distribution of duration of regional narrowing of packages.

Keywords: *qualities of service, self-similar traffic, imitating modeling, Hurst's parameter, system of mass service, multiservice network.*

Введение. Современное состояние развития телекоммуникаций характеризуется процессами конвергенции телекоммуникационных сетей и переходом от сетей с коммутацией каналов к сетям с коммутацией пакетов [1]. Безусловно, что при этом применяются новые технологии и намного расширяется спектр оказываемых услуг, который приводит к существенным изменениям характеристик трафика. Все эти факторы влияют на пропускную способность телекоммуникационных сетей связи [2, 3]. Для решения задачи оценки максимальной интенсивности нагрузки мультисервисной сети, которой возможно обслуживать с заданными параметрами качества, разработана имитационная модель одноканальной системы обслуживания самоподобного трафика с разнообразными законами распределения длительности обслуживания пакетов, выполнено статистическое моделирование и проанализировано их результаты.

Объектом исследований является система fBM/D/1 для решения задачи качества обслуживания мультисервисной сети обслуживания с широким спектром оказываемых услуг и характеристик трафика.

Предметом исследований является исследование и анализ основных закономерностей обеспечения точности оценок системы массового обслуживания для решения задачи качества обслуживания мультисервисной сети.

Целью работы является разработка имитационной модели одноканальной системы обслуживания самоподобного трафика с разнообразными законами распределения длительности обслуживания пакетов, реализация статистического моделирования, анализ полученных результаты и выдача определенных рекомендаций.

Актуальность работы. Основу расчета телекоммуникационных систем составляет теория телетрафика. Важнейшими понятиями этой теории является нагрузки, пропускная способность и параметры качества обслуживания. Параметры качества обслуживания зависят от допустимой нормы потерь сообщений и емкости самой телекоммуникационной системы (числа каналов или портов). В то же время они зависят и от статистических свойств потока вызовов, поступающего в телекоммуникационную систему. Итак, главная задача теории телетрафика, которая использует методы теории вероятностей, заключается в исследовании параметров качества обслуживания различных систем распределения информации и выявления связи этих параметров со статистическими свойствами трафика сети [4]. Основные известные аналитические зависимости для оценки параметров качества обслуживания, полученные в предположении о пуассоновском характере трафика. Однако реальные потоки вызовов, циркулирующие в современных телекоммуникационных сетях, существенно отличаются от "идеализированной" модели пуассоновских потоков, а именно носят самоподобный характер, и поэтому ряд задач в области методов расчета телекоммуникационных систем остаются открытыми и требуют дальнейшего исследования.

Исследование систем с самоподобным трафиком и детерминированным временем обслуживания. Трафик, передающийся по мультисервисным сетям или сетям с коммутацией пакетов, характеризуется наличием долгосрочных зависимостей в интенсивности нагрузки и существенным отличием статистических свойств потоков пакетов от пуассоновского потока и даже любых других потоков, определяемых одномерной функцией распределения вероятности промежутка времени между событиями поступления пакетов. Более адекватной моделью потоков в таких сетях являются самоподобные процессы, однако исследование характеристик качества обслуживания системы массового обслуживания (СМО) в этих условиях является очень сложной математической задачей. Например, для одноканальной СМО с бесконечной очередью при постоянной интенсивности обслуживания μ или постоянном времени обслуживания $t_{обсл} = 1/\mu,$ где входной поток описывается фрактальным броуновским движением (модель fBM/D/1) и приближенное решение было получено в работе [5], где показано, что количество требований в рассматриваемой системе в любой момент времени может t быть представлено случайной величиной

$$N(t) = \sup_{S \le t}[A(t) - A(s) - \mu(t-s)], \qquad (1)$$

где

$$A(t) = \lambda t + \sqrt{a\lambda} \cdot Z(t), \qquad (2)$$

Случайный процесс $Z(t)$ является нормализованным фрактальным броуновским движением с параметром Херста, равным H, а положительный коэффициент a является некоторым масштабирующим множителем. Как показал Норрос [5], для случая статистического равновесия, когда $\rho = \dfrac{\lambda}{\mu} < 1,$ вероятность того, что количество требований в системе N превысит заданную величину x, может быть представлена как некоторая функция

$$\Pr(N > x) = \Pr\left(\sup_{t>0}\left(Z(t) - \frac{\mu-\lambda}{\sqrt{a\lambda}}t\right) > \frac{x}{\sqrt{a\lambda}}\right) = f\left(\left(\frac{\mu-\lambda}{\sqrt{a\lambda}}\right)^{(1-H)/H} \frac{\mu-\lambda}{\sqrt{a\lambda}}\right). \qquad (3)$$

Для случая, когда эта вероятность равна заранее заданной величине $\Pr(N > x) = \varepsilon,$ из (3) следует, что

$$\frac{1-\rho}{\rho^{0,5/H}} \cdot \mu^{(H-0,5)/H} x^{(1-H)/H} \cdot \frac{a^{0,5/H}}{f(\varepsilon)} = const, \qquad (4)$$

а это значит, что

$$x = \frac{1-\rho^{H/(H-1)}}{\rho^{0,5/(H-1)}}. \qquad (5)$$

Следует напомнить, что x найдено из условия (4), если считать константу равной единице. Вероятность, равная единице – это достоверное событие и, следовательно, $x -$ это количество требований в системе, которое не может быть превышено, т.е. это верхняя оценка среднего количества требований N в системе fBM/D/1. Поскольку из формулы Литтла следует, что $T = N/\lambda,$ то среднее время пребывания требования в системе в единицах времени длительности обслуживания определяется формулой:

$$T = \frac{1-\rho^{H/(H-1)}}{\rho^{0,5/(H-1)}} \frac{1}{\rho} = \frac{1-\rho^{H/(H-1)}}{\rho^{(H-0,5)/(H-1)}}. \qquad (6)$$

Исходя из того, что для любой одноканальной системы средняя длина очереди $Q = N - \rho,$ то с учетом (5) для системы fBM/D/1получаем:

$$Q = \frac{1-\rho^{H/(H-1)}}{\rho^{0,5/(H-1)}} - \rho. \tag{7}$$

По мнению некоторых исследователей, результат Норроса [5] в виде выражений (5), (6) и (7) может быть интерпретирован как аналитическое решение для системы fBM/D/1. Однако при анализе этого решения нетрудно заметить, что при задании коэффициента Херста $H = 0,5$ (несамоподобный процесс) имеем:

$$N = \frac{1-\rho^{0,5/(0,5-1)}}{\rho^{0,5/(0,5-1)}} = \frac{\rho}{1-\rho}, \tag{8}$$

$$T = \frac{1-\rho^{0,5/(0,5-1)}}{\rho^{(0,5-0,5/(0,5-1)}} = \frac{1}{1-\rho}, \tag{9}$$

$$Q = \frac{1-\rho^{0,5/(0,5-1)}}{\rho^{0,5/(0,5-1)}} = \frac{\rho^2}{1-\rho}, \tag{10}$$

т.е. получается известный результат для среднего количества требований, средней длительности пребывания и средней длины очереди в системе типа M/M/1. Это весьма нелогичный результат с учетом того, что изначально исследовалась СМО с детерминированным временем обслуживания – модель fBM/D/1. При изменении коэффициента Херста от значения $H = 1$ (максимальное значение) до $H = 0,5$ (минимальное значение), несомненно, видоизменяется поток требований и соответствующая функция распределения вероятности промежутка времени между требованиями, но не изменяется функция распределения длительности обслуживания. Видно, что при $H = 0,5$ поток теряет свойства самоподобности, но тогда в этом случае результаты Норроса должны коррелироваться с результатами не для модели M/M/1, а, по крайней мере, для модели G/D/1 или в частном случае для модели M/D/1, для которой

$$N = \rho + \frac{\rho^2}{2(1-\rho)}, \tag{11}$$

$$T = 1 + \frac{\rho}{2(1-\rho)}, \tag{12}$$

$$Q = \frac{\rho^2}{2(1-\rho)}. \tag{13}$$

Алгоритм имитационного моделирования процесса обслуживания самоподобного трафика. Установить степень точности результата Норроса можно при помощи имитационного моделирования. Программа имитационного моделирования системы обслуживания содержит подпрограммы реализации двух случайных величин: согласно функции распределения промежутков времени между требованиями $A(t)$ и функции распределения продолжительности обслуживания $B(t)$. Процесс прибытия требований в систему моделируется как рекуррентный (момент прибытия очередного требования получается добавлением случайного интервала $A(t)$ к предыдущему), моменты освобождения серверов – добавлением к текущему моменту случайной длительности обслуживания $B(t)$. Данные интервалы формируются датчиками псевдослучайных чисел, настроенными на требуемые законы распределения. Как доказано в работе [6] для генерации входящего самоподобного трафика в качестве функции $A(t)$ можно использовать распределение Парето, получаемое путем перехода от равномерного распределения методом обратной функции:

$$Z_i = \frac{b}{\sqrt[a]{U_i}}, \tag{14}$$

где $Z_i - i -$й интервал между событиями, $U -$ случайное число, равномерно распределенное на интервале [0,1].

Рассмотрим построение логической схемы алгоритма построения имитационной модели однолинейной СМО с ожиданием и обслуживанием заявок в порядке поступления. Будем считать, что работа СМО прекращается, если обслужено n заявок. Начальное состояние соответствует отсутствию заявок в системе и когда определяемой характеристикой выступает вероятность того, что поступающая заявка застанет СМО в состоянии простоя. Потоки событий ординарные, заданы функции распределения промежутков между соседними событиями каждого из потоков.

На рис. 1 показана блок-схема разработанного алгоритма имитационной модели однолинейной СМО с ожиданием и обслуживанием заявок в порядке поступления.

На рис. 1 для построения схемы моделирования такой СМО используются следующие операторы:

1 – оператор начальной установки $i -$ значения счетчика числа реализаций и $k -$ значения счетчика числа требований, поступление которых совпало с простоем СМО (по всем реализациям);

2 – оператор установки начального значения $j -$ номера проводимой заявки; $t_{j-1} -$ значения момента

прихода в СМО $(j-1)$ – й заявки и θ_{j-1} – значения момента выхода $(j-1)$ – й заявки (для каждой реализации);

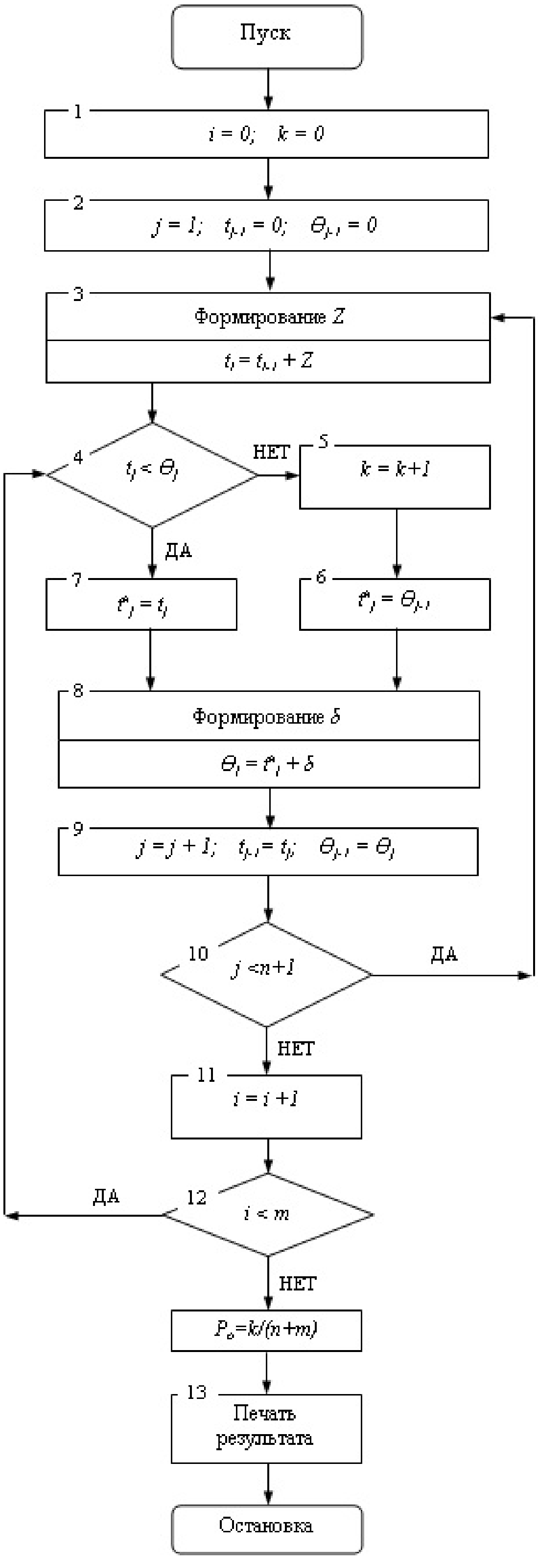

Рис. 1. Блок-схема разработанного алгоритма имитационной модели

3– оператор формирования величины t_j, причем Z – величина промежутка времени между моментами поступления $(j-1)$ и *j*-й заявки, совокупность этих величин распределена по закону $A(t)$;

4 – логический оператор, выясняющий состояние СМО (простоя или работы) в момент прихода *j*-й заявки;

5 – оператор счета числа поступлений требований в СМО, при которых система простаивала (по всем

реализациям);
6, 7 – операторы формирования значения t_j'' – момента начала обслуживания *j*-й заявки;
8 – оператор формирования θ_j, причем τ_j – длительность обслуживания *j*-й заявки, совокупность этих величин распределена по закону $B(t)$;
9 – оператор переиндексации *j* номера проводимой заявки;
10 – логический оператор, служащий для фиксации окончания обслуживания *n*-й заявки (для каждой реализации);
11 – счетчик числа реализаций;
12 – логический оператор, выясняющий момент окончания *m*-й реализации;
13 – оператор печати результата моделирования.

Из блок-схемы рис. 1 видно, что все операторы делятся на два вида:
1. Операторы, предназначенные непосредственно для моделирования процессов в СМО (1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12).
2. Операторы, предназначенные для фиксации, обработки и выдачи определяемых характеристик (5, 13).

Совокупность операторов первого вида определяется структурой моделируемой СМО, дисциплиной прохождения требований и т. д. [6, 7].

Результаты имитационного моделирования СМО типа fBM/D/1. Оценки Норроса показывают степень влияния величины коэффициента H на параметры качества обслуживания N, T и Q. Однако результат Норроса, полученный в предположении постоянной длительности обслуживания, вызывает сомнение, поскольку при $H = 0{,}5$ выражения (8), (9) и (10) дают оценки параметров качества обслуживания, характерные для экспоненциального закона распределения длительности обслуживания, а не регулярного. Установить степень точности результата Норроса можно при помощи имитационного моделирования. Для этого использована модель, представленная в работе [5]. При имитационном моделировании достаточно оценить только один из параметров, например N, поскольку параметры Q и T связаны с N известными функциональными зависимостями, применениями формула Литтла. Результаты имитационного моделирования СМО типа fBM/D/1 при $H = 0{,}7$ приведены на рис. 2 и показаны линией, обозначаемой знаком «+».

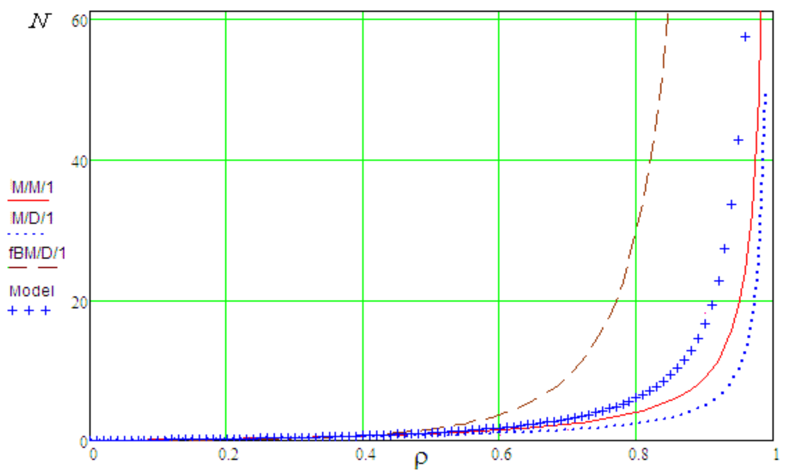

Рис. 2. Результат моделирования среднего количества требований в системе N для модели fBM/D/1 при $H = 0{,}7$

Результаты моделирования подтверждают выводы о том, что при наличии свойств самоподобия во входящем потоке требований с ростом интенсивности нагрузки ρ ухудшаются характеристики качества обслуживания, но не настолько, как предполагается по методу Норроса. Расхождение результатов моделирования и оценок, получаемых по (8), (9) и (10) составляет сотни процентов [8]. Очевидно, что оценка Норроса значительно завышена, что требует нахождения более точного решения. Несмотря на то, что в [8] предложена несколько иная оценка средней длины очереди в одноканальной системе с самоподобным входящим потоком и детерминированным временем обслуживания, но она все же базируется на результате (8). Для некоторого повышения точности оценки за основу расчета Q взята не естественная функциональная зависимость $Q = N - \rho$, чтобы получить (10), а предложено рассчитывать $Q = N\rho$, что дало:

$$Q = \rho \frac{\rho^{1/2(1-H)}}{1-\rho^{H/(1-H)}}. \quad (15)$$

Следует заметить, что при $H = 0{,}5$ здесь также получается известный результат (7) для средней длины очереди в модели M/M/1. При иных значениях H оценки средней длины очереди (15) несколько ниже оценок (10) и ближе к результатам моделирования, что продемонстрировано на рис. 3 зависимостью в виде штрих-пунктирной линии.

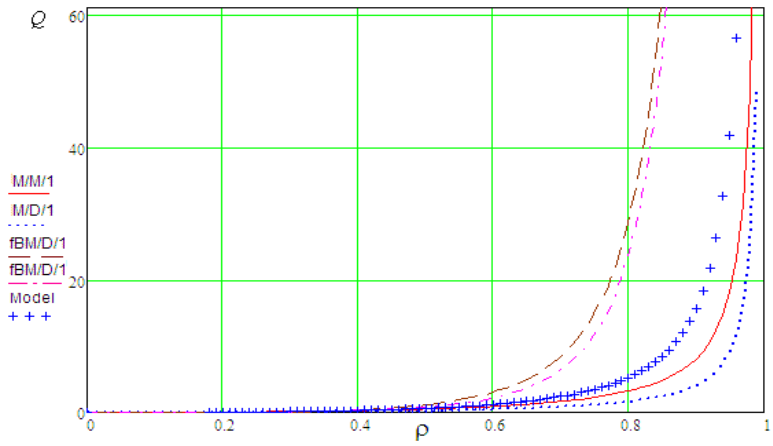

Рис. 3. Зависимость средней длины очереди Q для моделей M/M/1, M/D/1 и fBM/D/1 при $H = 0{,}7$

По результатам видно, что получаемые значения Q методами (10) и (15) отличаются между собой незначительно, но обе оценки существенно отличаются от результатов моделирования[5,9]. На графике можно видеть, что с ростом интенсивности нагрузки ρ увеличивается средняя длина очереди Q, но еще более существенно она увеличивается при наличии свойств самоподобия во входящем потоке требований. Несомненно, характеристика качества обслуживания Q ухудшается, но не настолько, как предполагается по методу Норроса. Приведенный анализ показал, что оценка Норроса является достаточно грубой оценкой с погрешностью в сотни процентов. Отсюда следует, что все результаты, полученные на основе оценок Норроса, будут столь же неточны. Например, это касается результатов, полученных в [9], где на базе формулы Норроса (15) и известных соотношений между параметрами QoS даются оценки среднего размера буфера, среднего времени нахождения требования в буфере, среднего времени нахождения запроса в системе, среднего времени задержки запроса в сети передачи данных.

Заключение. Представленные оценки Норроса для системы fBM/D/1 можно использовать в научных исследованиях для решения задачи качества обслуживания мультисервисной сети, но как показано аналитическим исследованием, что при значении коэффициента Херста $H = 0{,}5$ из них получается известный результат для системы типа M/M/1 [10]. Оценки Норроса показывают степень влияния величины коэффициента H на параметры качества обслуживания N, T и Q. Однако результат Норроса, полученный в предположении постоянной длительности обслуживания потока вызовов, вызывает сомнение, поскольку при $H = 0{,}5$ выражения (8), (9) и (10) дают оценки параметров качества обслуживания, характерные для экспоненциального закона распределения длительности обслуживания, а не регулярного.

Литература

1. Величко В.В. Телекоммуникационные системы и сети. Том 3. Мультисервисные сети / В.В. Величко, Е.А. Субботин, В.П. Шувалов, А.Ф. Ярославцев. – М. : Горячая линия – Телеком, 2005. – 592 с.

2. Ганифаев Р.А. Исследование параметров мультисервисного узла доступа сети следующего поколения / Р.А. Ганифаев // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2007. – № 2. – С. 79–86.

3. Ложковский А.Г. Методы расчета качества обслуживания в мультисервисных сетях связи / А.Г. Ложковский // The 2-nd International Conference «Telecommunication, Electronics and Informatics», Chishinau. – 2008 – С. 117–126.

4. Крылов В.В. Теория телетрафика и её приложения / В.В. Крылов, С.С. Самохвалов. – СПб : БХВ-Петербург, 2005. – 288 с. : ил.

5. Norros Ilkka. A storage model with self-similar input. – Queuing Systems, 1994. – Vol. 16.

6. Ганифаев Р.А. Моделирование обслуживания самоподобного трафика в системе массового обслуживания / Р.А. Ганифаев // Національна академія наук України. Інститут проблем моделювання в енергетиці. – Київ, 2010. – Випуск 56.

7. Ганифаев Р.А. Имитационное моделирование времени ожидания в сетях с коммутацией пакетов / Р.А. Ганифаев, М.А. Мамедов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2007. – № 1/2(25).

– С. 116–119.

8. Ложковский А.Г. Оценка параметров качества обслуживания самоподобного трафика энтропийным методом / А.Г. Ложковский, Р.А. Ганифаев // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2008. – № 1. – С. 57–62.

9. Агеев Д.В. Сравнительный анализ методик выбора пропускных способностей каналов связи при самоподобных потоках в сети / Д.В. Агеев, Самер Махмуд // Зв'язок. – 2007. – № 3. – С. 15–22.

10. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания / Л. Клейнрок ; пер. с англ. – М. : Машиностроение, 1979. – 432 с., ил.

References

1. Velichko V.V. Telekommunikacionnye sistemy i seti. Tom 3. Mul'tiservisnye seti / V.V. Velichko, E.A. Subbotin, V.P. Shuvalov, A.F. Jaroslavcev. – M. : Gorjachaja linija – Telekom, 2005. – 592 s.

2. Ganifaev R.A. Issledovanie parametrov mul'tiservisnogo uzla dostupa seti sledujushhego pokolenija / R.A. Ganifaev // Naukovi praci ONAZ im. O.S. Popova. – 2007. – № 2. – S. 79–86.

3. Lozhkovskij A.G. Metody rascheta kachestva obsluzhivanija v mul'tiservisnyh setjah svjazi / A.G. Lozhkov-skij // The 2-nd International Conference «Telecommunication, Electronics and Informatics», Chishinau. – 2008 – S. 117–126.

4. Krylov V.V. Teorija teletrafika i ejo prilozhenija / V.V. Krylov, S.S. Samohvalov. – SPb : BHV-Peterburg, 2005. – 288 s. : il.

5. Norros Ilkka. A storage model with self-similar input. – Queuing Systems, 1994. – Vol. 16.

6. Ganifaev R.A. Modelirovanie obsluzhivanija samopodobnogo trafika v sisteme massovogo obsluzhivanija / R.A. Ganifaev // Nacional'na akademija nauk Ukraini. İnstitut problem modeljuvannja v energetici. – Kiiv, 2010. – Vipusk 56.

7. Ganifaev R.A. Imitacionnoe modelirovanie vremeni ozhidanija v setjah s kommutaciej paketov / R.A. Ga-nifaev, M.A. Mamedov // Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij. – 2007. – № 1/2(25). – S. 116–119.

8. Lozhkovskij A.G. Ocenka parametrov kachestva obsluzhivanija samopo¬dobnogo trafika jentropijnym meto-dom / A.G. Lozhkovskij, R.A. Gani¬faev // Naukovi praci ONAZ im. O.S. Popova. – 2008. – № 1. – S. 57–62.

9. Ageev D.V. Sravnitel'nyj analiz metodik vybora propusknyh sposobnostej kanalov svjazi pri samopo-dobnyh potokah v seti / D.V. Ageev, Samer Mahmud // Zv'jazok. – 2007. – № 3. – S. 15–22.

10. Klejnrok L. Teorija massovogo obsluzhivanija / L. Klejnrok ; per. s angl. – M. : Mashinostroenie, 1979. – 432 s., il.

Рецензія/Peer review : 5.1.2019 р. Надрукована/Printed :16.2.2019 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Ибрагимов Б.Г.