

УДК 621. 391

## ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ РАСЧЕТА КОЭФФИЦИЕНТА САМОПОДОБНОСТИ ТРАФИКА ПАКЕТНОЙ СЕТИ СВЯЗИ

*Ложковский А.Г., Левенберг Е.В.*

*Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова,  
65029, Украина, г. Одесса, ул. Кузнечная, 1.  
[aloshk@onat.edu.ua](mailto:aloshk@onat.edu.ua)*

## ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ РОЗРАХУНКУ КОЕФІЦІЄНТА САМОПОДІБНОСТІ ТРАФІКА ПАКЕТНОЇ МЕРЕЖІ ЗВ'ЯЗКУ

*Ложковський А.Г., Левенберг Є.В.*

*Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова,  
65029, Україна, м. Одеса, вул. Кузнечна, 1.  
[aloshk@onat.edu.ua](mailto:aloshk@onat.edu.ua)*

## INCREASE THE ACCURACY OF CALCULATING THE SELF-SIMILARITY COEFFICIENT IN PACKET NETWORK TRAFFIC

*Lozhkovskiy A.G., Levenberg Ye.V.*

*O.S. Popov Odessa national academy of telecommunications,  
1 Kuznechna St., Odessa, 65029, Ukraine.  
[aloshk@onat.edu.ua](mailto:aloshk@onat.edu.ua)*

**Аннотация.** Предложен метод повышения точности расчета характеристик качества обслуживания в пакетной сети связи с самоподобным трафиком за счет более точного нахождения коэффициента самоподобности или показателя Херста в зависимости от параметров вероятностной функции распределения интервала времени между пакетами. Для случая, когда в самоподобном трафике интервал времени между пакетами описывается распределением Вейбулла, получена новая формула расчета коэффициента самоподобности трафика на основе параметра формы этого распределения. При этом расчет характеристик качества обслуживания можно выполнять на основе известной формулы Норрса. С повышением точности расчета показателя Херста повышается и точность расчета самих характеристик качества обслуживания.

**Ключевые слова:** самоподобный трафик, показатель Херста, методы расчета качества обслуживания.

**Анотація.** Запропоновано метод підвищення точності розрахунку характеристик якості обслуговування в пакетній мережі зв'язку з самоподібним трафіком за рахунок більш точного знаходження коефіцієнта самоподібності або показника Херста в залежності від параметрів імовірнісної функції розподілу інтервалу часу між пакетами. Для випадку, коли в самоподібному трафіку інтервал часу між пакетами описується розподілом Вейбулла, отримана нова формула розрахунку коефіцієнта самоподібності трафіка на основі параметра форми цього розподілу. При цьому розрахунок характеристик якості обслуговування можна виконувати на основі відомої формули Норрса. З підвищенням точності розрахунку показника Херста підвищується й точність розрахунку самих характеристик якості обслуговування.

**Ключові слова:** самоподібний трафік, показник Херста, методи розрахунку якості обслуговування.

**Abstract.** A method is proposed to increase the accuracy of calculating service quality characteristics in a packet communication network with self-similar traffic due to a more accurate determination of the self-similarity coefficient or Hurst exponent as a function of the parameters of the

probabilistic distribution function of the time interval between packets. For the case when in the self-similar traffic the time interval between packets is described by the Weibull distribution, a new formula for calculating the self-similarity coefficient of traffic is obtained on the basis of the shape parameter of this distribution. The calculation of the characteristics of service quality can be performed on the basis of the well-know Norros formula. With an increase in the accuracy of calculating the Hurst exponent, the calculation accuracy of the quality service characteristics also increases.

**Key words:** self-similar traffic, the Hurst exponent, quality of service calculation methods.

В трафике пакетных сетей связи обнаружен эффект самоподобия [1], но при этом нахождение показателей качества обслуживания с учетом этого обстоятельства остается затруднительным. Из-за отсутствия строгой теоретической базы, способной дополнить классическую теорию массового обслуживания при проектировании пакетной сети с самоподобным трафиком, не существует достоверной и признанной методики расчета характеристик качества обслуживания самоподобного трафика в системах распределения информации. В работе [2] показано, что при наличии свойств самоподобия во входящем потоке пакетов с ростом интенсивности нагрузки  $\rho$  ухудшаются характеристики качества обслуживания, но не настолько, как предполагается по методу Норроса [3]. Расхождение результатов моделирования и оценок, получаемых по методу Норроса, может достигать сотни процентов [2]. Очевидно, что оценка Норроса существенно завышена, а это требует нахождения более точного решения.

**Целью данной статьи** является повышение точности расчета характеристик качества обслуживания путем получения новой формулы расчета коэффициента самоподобности трафика или показателя Херста в зависимости от параметра формы распределения Вейбулла, поскольку в самоподобном трафике интервал времени между пакетами потока может описываться именно распределением Вейбулла.

Для односерверной системы с бесконечной очередью и постоянным временем обслуживания известно решение в виде формулы Норроса [3, 5]:

$$N = \frac{(1 - \rho)^{\frac{H}{H-1}}}{\rho^{\frac{0.5}{H-1}}}. \quad (1)$$

Здесь  $N$  – среднее количество пакетов в системе, которое не может быть превышено, т.е. это верхняя оценка этого количества пакетов в данной системе, а  $H$  – коэффициент самоподобности пакетного трафика, называемый показателем Херста.

Методом Херста можно выявить в статистических данных пакетного трафика такие свойства, как кластерность, тенденцию следовать по направлению тренда (персистентность) и быструю перемежаемость последовательных значений интенсивности трафика (всплески интенсивности, приводящие к пачечности), сильное последствие и память, фрактальность (самоподобность), наличие периодических и непериодических циклов (из-за особенностей используемых протоколов передачи пакетного трафика).

Пачечный характер генерированного трафика способствует его адекватности реальному характеру трафика в мультисервисных сетях. Здесь при широком диапазоне скоростей передачи нагрузка является разнородной, поскольку передачу потоков разных приложений и служб обеспечивает одна и та же сеть с едиными протоколами и законами управления. Источники определённой службы характеризуются максимальной и средней скоростями передачи, т.е. коэффициентом пачкования (*burstiness*) и средней длительностью пика нагрузки. Например, пачкование для речевых служб возможно из-за пауз в разговоре.

Результаты моделирования, представленные на рис. 1, показывают, что при самоподобном трафике с ростом интенсивности нагрузки  $\rho$  ухудшаются характеристики качества обслуживания, но не настолько, как это установлено формулой Норроса.

Расхождение результатов моделирования (показаны знаком «+») и оценок, полученных по формуле (1) (показаны штриховой линией), может достигать сотни процентов. Таким образом, оценка Норрса при  $\rho > 0,5$  завышена и необходимо более точное решение.

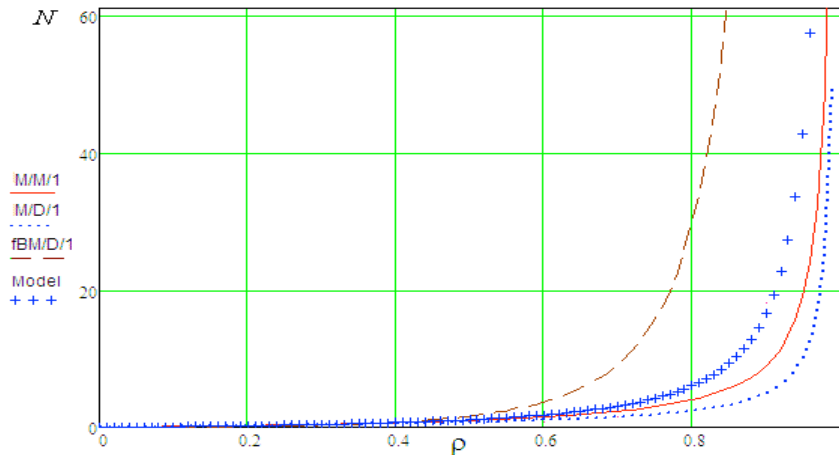


Рисунок 1 – Моделирование  $N$  в одноканальной системе при  $H = 0,7$

Самоподобный поток можно формировать методом Мандельброта [4]. Он основан на суперпозиции нескольких независимых и имеющих одинаковое распределение ON/OFF источников, интервалы между ON и OFF периодами которого обладают эффектом Ноа. Эффект Ноа в распределении длительностей ON/OFF периодов является базовым при моделировании самоподобного трафика. Эффект Ноа является синонимом синдрома бесконечной дисперсии. Для достижения эффекта Ноа используют распределения, часто называемые «распределениями с длинным хвостом», к которым относится, например, распределение Вейбулла. Наличие в распределении «длинного хвоста» обеспечивает свойство пачечности трафика, так как в распределении возрастают вероятности длинных интервалов между событиями, а также для их компенсации возрастают и вероятности очень коротких интервалов.

Плотность распределения Вейбулла задается функцией:

$$\lambda_0 a x^{a-1} e^{-\lambda_0 x^a},$$

где  $a$  – параметр формы;  $\lambda_0$  – коэффициент масштаба.

При практическом моделировании самоподобного трафика распределение Вейбулла интервала времени между пакетами получается путем перехода от равномерного распределения методом обратной функции:

$$X_i = \left( -\frac{1}{\lambda_0} \ln U_i \right)^{1/a}, \quad (2)$$

где  $X_i$  –  $i$ -й интервал между пакетами потока;  $U$  – случайное число, равномерно распределенное на интервале  $0 \dots 1$ . Для обеспечения самоподобных свойств моделируемого трафика необходимо задавать значения параметра формы  $a$  в пределах от 1 до 0, что будет давать значения коэффициента самоподобности или показателя Херста в диапазоне  $H = 0,5 \dots 1$  соответственно.

Параметр формы  $a$  распределения Вейбулла и показатель Херста  $H$  принято считать [1], что находятся в такой зависимости:

$$H = \frac{2 - a}{2}. \quad (3)$$

Однако, результаты моделирования, представленные на рис. 2, показывают, что для распределения Вейбулла нет линейной зависимости (3) показателя Херста  $H$  от параметра формы  $a$  распределения.

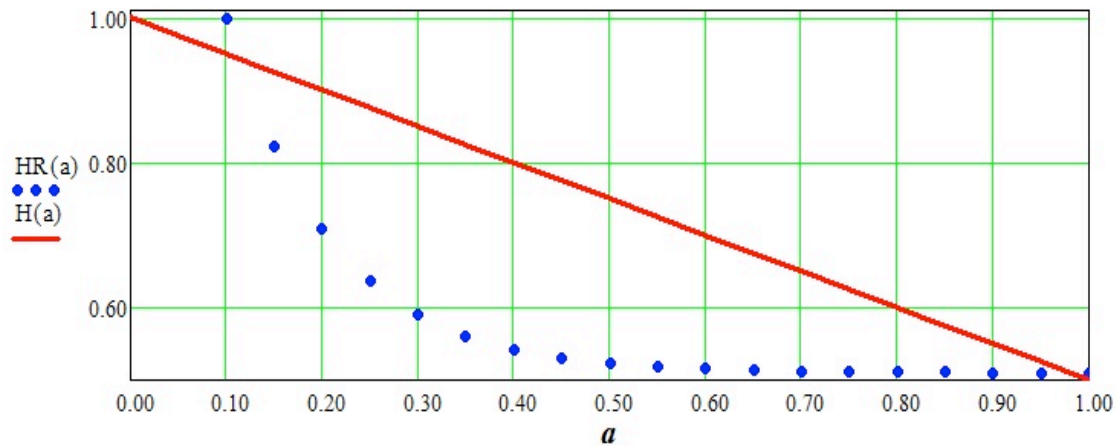


Рисунок 2 – Моделирование показателя  $H$

Из рис. 2 видно, что реальный показатель Херста  $HR$  (пунктирная кривая) зависит от параметра  $a$  формы распределения Вейбулла не линейно (сплошная линия), а по закону, близкому к экспонентному. Если в реальной статистике трафика интервал времени между пакетами аппроксимируется распределением Вейбулла, то для формулы Норрса (1) надо рассчитывать показатель Херста не по формуле (3), а по формуле, аппроксимирующей реальную зависимость  $HR$  от параметра  $a$ , показанной на рис. 2 пунктирной линией. При этом точность расчета (1) существенно возрастает, поскольку, например, из (3) следует, что при  $a = 0,4$  показатель  $H = 0,8$ , а фактически  $H = 0,55$ , что на 32% меньше.

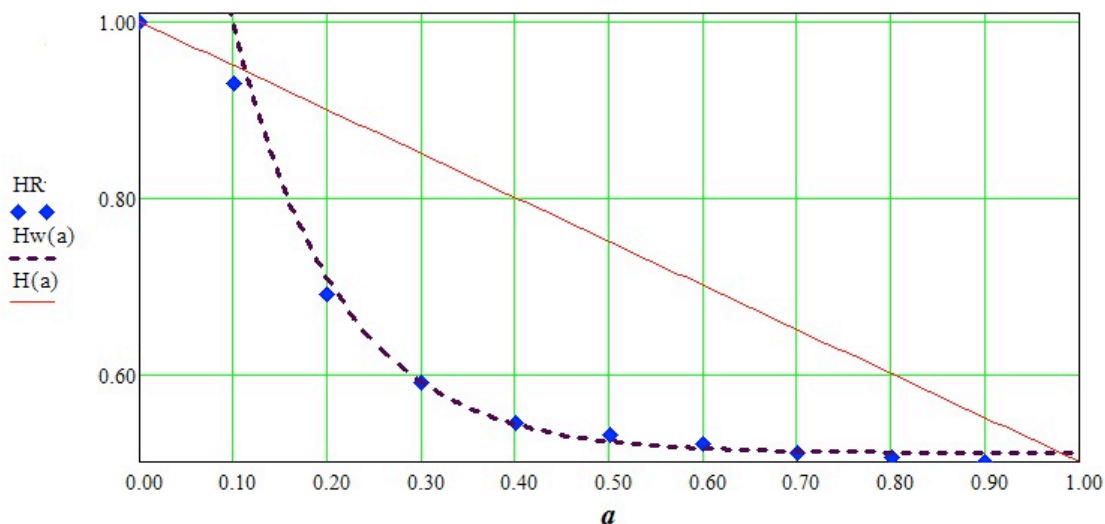


Рисунок 3 – Аппроксимация  $HR$  показателя Херста

По результатам имитационного моделирования установлено, что показатель Херста для трафика, описываемого распределением Вейбулла, можно рассчитывать по такой формуле (аппроксимация реальной зависимости  $H$  от параметра  $a$ ):

$$Hw = 1,2e^{-9a} + 0,5, \quad (4)$$

где  $a$  – это параметр формы распределения Вейбулла.

Аппроксимация (4) коэффициента самоподобности  $HR$  (штриховая линия), показанная на рис. 3, хотя и не полностью соответствует кривой реального изменения показателя Херста в зависимости от параметра  $a$  формы распределения Вейбулла, но обеспечивает точность расчета характеристик качества обслуживания на порядок выше, чем при расчетах с использованием формулы (3). При этом в среднем погрешность расчета не превышает 10...20%.

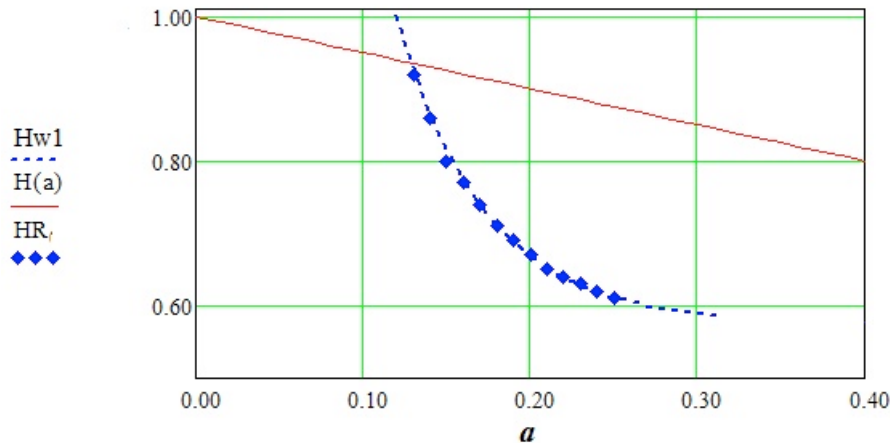


Рисунок 4 – Аппроксимация показателя Херста  $HR$  при  $H = 0,6 \dots 0,9$

На рис. 4 для более узкого диапазона значений  $H = 0,6 \dots 0,9$  дана аппроксимация вида

$$Hw1 = 4,1e^{-19a} + 0,56, \quad (5)$$

которая обеспечивает еще более точный расчет показателя Херста  $H$  в зависимости от параметра  $a$  формы распределения Вейбулла. Именно в этом диапазоне в основном лежат значения показателя  $H$  реального самоподобного трафика пакетных сетей связи [1].

С учетом указанной аппроксимации при оценке характеристик качества обслуживания достаточно рассчитать через параметр  $a$  формы распределения Вейбулла только одну из характеристик, например, среднее количество пакетов в системе  $N$  по формуле (1). Все оставшиеся характеристики  $QoS$  рассчитываются по известным формулам, поскольку такие характеристики, как среднее количество пакетов в очереди  $Q$ , среднее время пребывания пакетов в системе  $T$  и среднее время задержки пакетов в системе  $W$  связаны с  $N$  известными функциональными соотношениями [5].

Предложенный метод позволяет рассчитывать характеристики качества обслуживания самоподобного трафика, описываемого распределением Вейбулла, в одноканальной системе с очередью и постоянным временем обслуживания пакетов значительно проще. Здесь для расчета показателя Херста необходимо знать лишь параметр  $a$  формы вероятностного распределения Вейбулла, которым аппроксимируются статистические данные трафика, и нет необходимости рассчитывать достаточно сложным и трудоемким способом, например, методом  $R/S$ -статистики [6] этот показатель или коэффициент самоподобности. Все приведенные графики демонстрируют существенное отличие реальной (5) и используемой сейчас линейной зависимости (3) показателя Херста  $H$  от параметр  $a$  формы распределения Вейбулла в системе с трафиком, аппроксимируемым этим распределением. Использование реальной функциональной зависимости  $H$  от  $a$  позволяет повысить точность расчета характеристик качества обслуживания на порядок.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Крылов В.В. Теория телетрафика и её приложения / В.В. Крылов, С.С. Самохвалова – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 288 с.: ил.
2. Ложковский А.Г. Сравнительный анализ методов расчета характеристик качества обслуживания при самоподобных потоках в сети / А.Г. Ложковский // Моделивання та інформаційні технології: зб. наук. праць ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України. – К., 2008. – Вип. 47. – С. 187-193.
3. Norros Ilkka. A storage model with self-similar input // *Queueing Systems*. – 1994. – Vol. 16.
4. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы // Компьютинг в математике, физике, биологии; пер. с англ. Б. Мандельброта – М.: Изд-во Института компьютерных исследований, 2002. – 210 с.
5. Ложковский А.Г. Теорія масового обслуговування в телекомунікаціях / Ложковский А.Г. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2010. – 112 с.
6. Lozhkovskiy A.G. Simplified calculation of the Hurst coefficient by the R/S-analysis method / A.G. Lozhkovskiy // *Proceedings of 2nd IEEE International Conference on Advanced Information and Communication Technologies-2017 (AICT-2017)*, (July 4-7, 2017). – Lviv, 2017. – P. 254-257.

REFERENCES:

1. Krylov V.V. Teorija teletrafika i ejo prilozhenija / V.V. Krylov, S.S. Samohvalova. – SPb.: BHV-Peterburg. – 2005. – 288 p.: il.
2. Lozhkovskiy A.G. Comparative analysis of methods for calculating the quality of service characteristics with self-similar flows in the network / A.G. Lozhkovskiy // *Modeling and Information Technologies: Coll. Science. pr. IPM NAS of Ukraine*. – K.: 2008. – Vol. 47. – K., 2008. – P. 187-193.
3. Norros Ilkka. A storage model with self-similar input // *Queueing Systems*. – 1994. – Vol. 16.
4. Mandel'brot B. Fraktal'naja geometrija prirody // *Komp'juting v matematike, fizike, biologii*; per. s angl. B. Mandelbrota. – M.: Izd-vo Instituta komp'juternyh issledovaniy, 2002. – 210 p.
5. Lozhkovskiy A.G. Teorlya masovogo obslugovuvannya v telekomunikatsiyah / Lozhkovskiy A.G. – Odesa: ONAZ im. O.S. Popov, 2010. – 112 p.
6. Lozhkovskiy A.G. Simplified calculation of the Hurst coefficient by the R/S-analysis method / A.G. Lozhkovskiy // *Proceedings of 2nd IEEE International Conference on Advanced Information and Communication Technologies-2017 (AICT-2017)*, (July 4-7, 2017), Lviv, 2017. – P. 254-257.