УДК 621.391

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ПОКАЗНИКІВ ОБСЛУГОВУВАННЯ В СМО ІЗ САМОПОДІБНИМ ТРАФІКОМ

Уривський Л.О., Криклива А.В.
Навчально-науковий інститут телекомунікаційних систем
КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: leonid_uic@ukr.net, kriklivanastya@gmail.com

RESEARCH OF SERVICE INDICATORS DYNAMICS IN QUEUING SYSTEM WITH SELF-SIMILAR TRAFFIC

In the report the dynamics of Queuing System with Self-Similar Traffic on the example of Queuing System with Wb/M/1/∞ structure with Weibull distribution (Wb) for incoming flow are research. The indicators are: the average number of applications in the service system, the average time spent in service, the average waiting time in line. The obtained indicators are compared with the traditional Poussonian model of incoming traffic.

Стрімке зростання обсягу користувачів трафіку, зміна його структури та характеру, значне збільшення пропускної спроможності може сприяти можливим перевантаженням об’єктів мережі, їх буферних пристроїв і, відповідно, призвести до затримок і втрат пакетів. Тому при обслуговуванні пакетного трафіку особлива увага приділяється підтримці характеристик якості обслуговування QoS (Quality of Service).

Новою тенденцією моделювання СМО в останні роки стала дослідження систем не з незалежними потоками заявок (як при використанні традиційної Пуассонівської моделі), а при допущення про корельованість потоків в загальному трафіку. Цей випадок класифікується як самоподібність трафіку.

Незважаючи на тривалий період вивчення самоподібності телетрафіку, залишається невирішеним значний клас завдань:

1) фактично відсутня строга теоретична база, яка пришла б на зміну класичної теорії телетрафіку при проектуванні сучасних мереж мобільного зв’язку, які використовують самоподібний трафік;

2) відсутня єдина загальновизнана модель самоподібного трафіку;

3) відсутня достовірна й визнана методика розрахунку характеристик якості QoS для систем і мереж, що обслуговують самоподібний трафік;

4) відсутні механізми й алгоритми, що забезпечують якість обслуговування в умовах самоподібного трафіку [1].

Метою роботи є дослідження показників якості обслуговування СМО з різними вихідними характеристиками, аналіз характеристик якості обслуговування при порівнянні кількісних характеристик при різних параметрах СМО задля виявлення особливостей СМО із властивістю самоподібності.

Для отримання функціональних залежностей і оцінки характеристик функціонування мережі, **хмарне середовище** розглядають, як сукупність мереж масового обслуговування, що складається з систем масового обслуговування.

Кожна СМО описується заданим видом потоку запитів, тривалістю обслуговування, кількістю обслуговуючих каналів і дисципліною обслуговування.

Важливою властивістю пуассонівського потоку подій є те, що час між двома послідовними подіями є випадкова величина, розподілена по експоненціальному закону [2, 3]:

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \tag{1}$$

де $\lambda > 0$ – інтенсивність потоку.

І функціональною характеристикою є коефіцієнт навантаження ρ:

$$\rho = \lambda \cdot t \tag{2}$$

де λ – інтенсивність надходження заявок в СМО,

$\tau = 1/\mu$ – середня тривалість обслуговування заявок в СМО,

μ – інтенсивність обслуговування заявок в СМО.

Для аналізу параметрів обслуговування в **хмарному середовищі** використовується СМО з розподілом Пуассона і з розподілом Вейбулла, який описує самоподібність при різних параметрах Херста (*H*), так як даний параметр визначає ступінь самоподібності.

Враховуючи суттєві можливості хмарного середовища накопичувати інформацію для наступної її обробки, розглянемо модель трафіку, яка відповідає одноканальну СМО з нескінченною чергою зі структурою М / М / 1 / ∞.

Визначимо показники якості обслуговування для випадку **пуассонівського потоку** надходження заявок та їх обслуговування.

Отримане значення коефіцієнта навантаження ρ дозволяє визначити основні функціональні характеристики СМО, користуючись відомими формулами Літтла [4]:

- середня кількість заявок Q в СМО (на обслуговування і в черзі):

$$Q = \frac{\rho}{1 - \rho} \tag{3}$$

середня довжина черги, тобто заявки, які очікують на обслуговування:

$$L = \frac{\rho^2}{1 - \rho} \tag{4}$$

середній час перебування $W_{сист}$ заявки в системі:

$$W_{сист} = \frac{1}{\mu \cdot (1 - \rho)} \tag{5}$$

середній час очікування в черзі $W_{оч}$, яке визначається затримкою заявки в черзі і залежить від кількості заявок в черзі [23]:

$$W_{оч} = \frac{\rho}{\mu \cdot (1 - \rho)} \tag{6}$$

В разі, коли до хмарного середовища надходять залежні за часом (корельовані) заявки ,доцільно використати відповідну модель із вхідним потоком. Який відповідає розподілу Вейбулла.

Розглянемо СМО виду *Wb*/*M*/1/∞ (СМО обслуговує потік заявок, який описується розподілом Вейбулла (Wb), час обслуговування має експоненціальний розподіл (М), СМО однолінійна з нескінченною чергою), тобто розподіл Вейбулла, заданий диференціальною функцією розподілу [3, 5]:

$$f(x) = \begin{cases} \alpha \cdot \beta \quad \cdot x^{\alpha-1} \cdot e^{-\beta \cdot x^{\alpha}}, & x \geq 0 \\ 0, & x \leq 0 \end{cases} \tag{7}$$

де α – параметр форми кривої розподілу, $0 < \alpha < 1$;

$$\alpha = 2 - 2 \cdot H \tag{8}$$

H – параметр Херста, $0{,}5 < H < 1$,

$$\beta = \left[\lambda \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)\right]^{\alpha} \tag{9}$$

β – параметр розподілу, $\beta > 0$,

λ – інтенсивність надходження пакетів на обслуговування в СМО,

Γ(k) – гама-функція Ейлера.

Відомо, що для СМО WB/M/1/∞ ймовірність того, що заявка, яка надійшла, застане в СМО *n* заявок на обслуговуванні, визначається як [5]:

$$r_n = (1 - \sigma) \cdot \sigma^n \tag{10}$$

де σ – корінь рівняння $0 \leq \sigma < 1$,

$$\sigma = F(\mu - \mu \cdot \sigma) \tag{11}$$

де F – перетворення Лапласа-Стілтьєса (ПЛС);

μ– інтенсивність обслуговування пакетів в СМО [заявок/час, пак/с].

– середній час очікування $W_{оч}$ заявки в черзі:

$$W_{оч} = \frac{\sigma}{\mu(1 - \sigma)} \tag{12}$$

де μ – інтенсивність обслуговування заявок у СМО;

– середній час перебування $W_{сист}$ заявки в системі:

$$W_{сист} = \frac{\rho \cdot \sigma}{\mu \cdot \lambda(1 - \sigma)} \tag{13}$$

– середня кількість заявок Q:

$$Q = \frac{\rho \cdot \sigma}{\mu(1 - \sigma)} \tag{14}$$

де ρ – коефіцієнт завантаження СМО;

– середня довжина черги L заявок дорівнює:

$$L = \frac{\rho \cdot \sigma}{1 - \sigma} \tag{15}$$

Для порівняння параметрів пуссоновської версії трафіку (H = 0,5) та самоподібного вхідного потоку (H = 0,6 та H = 0,7) розрахункові значення згідно співвідношень (3) – (6) та (12) – (15) зведено до Таблиці 1.

Таблиця 1. Розрахункові значення для порівняння параметрів.

Коефіцієнт завантаження СМО, ρ	0.8	0.7	0.64	0,6	0.5	0.49	0.48	0.47	0.46	0.45
Середній час перебування заявки в системі, $W_{сист}$										
H = 0,5	6,67	3,33	2,22	1,67	1	0,87	0,769	0,686	0,617	0,56
H = 0,6	9.403	3.131	1.544	0.91	0.348	0.265	0.207	0.165	0.134	0.111
H = 0,7	14.99	5.024	2.481	1.479	0.575	0.436	0.341	0.273	0.224	0.185
Середній час очікування, $W_{оч}$										
H = 0,5	5,33	2.33	1.42	1	0.5	0.43	0.37	0.33	0.228	0.225
H = 0,6	7.052	3.132	1.930	1.366	0.696	0.594	0.517	0.457	0.409	0.372
H = 0,7	11.245	5.024	3.102	2.219	1.150	0.980	0.854	0.755	0.679	0.616
Середня кількість заявок, Q										
H = 0,5	4	2.33	1.78	1.5	1	0.96	0.92	0.9	0.87	0.86
H = 0,6	5.642	2.192	1.235	0.819	0.348	0.291	0.248	0.214	0.188	0.167
H = 0,7	8.996	3.517	1.985	1.331	0.575	0.48	0.409	0.355	0.313	0.277
Довжина черги заявок, L										
H = 0,5	3.2	1.63	1.137	0.9	0.5	0.47	0.44	0.42	0.39	0.37
H = 0,6	4.231	2.193	1.544	1.229	0.696	0.655	0.621	0.591	0.565	0.543
H = 0,7	6.747	3.517	2.482	1.997	1.15	1.08	1.023	0.976	0.938	0.901

Відповідні графічні залежності представлено на рис.1 – 4.

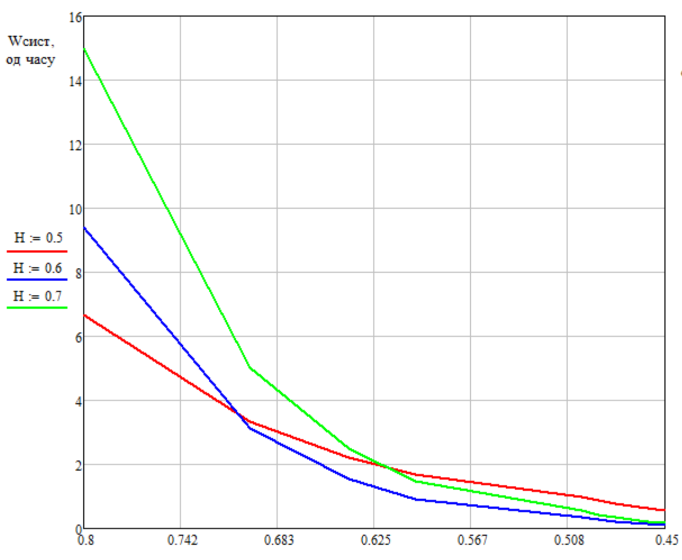

Рис. 1. Середній час перебування заявки в системі при різних значеннях параметру Херста.

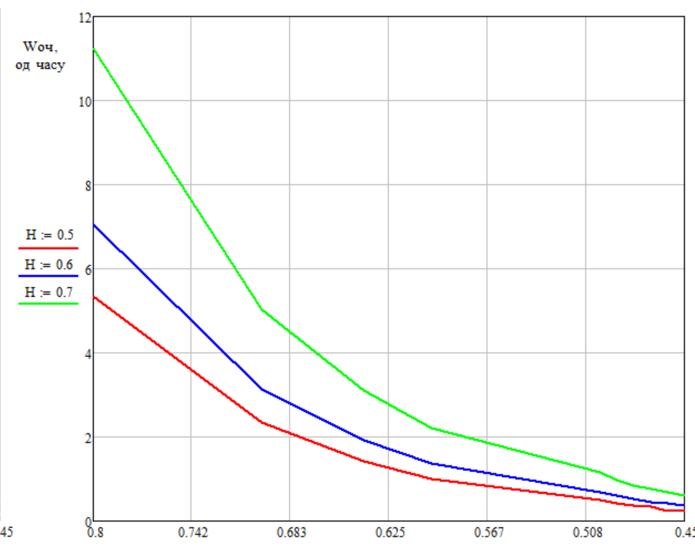

Рис. 2. Середній час очікування заявки при різних значеннях параметру Херста.

Розглянемо першу із залежностей – середнього часу перебування заявки в системі $W_{СИСТ}$, як функції інтенсивності вхідного потоку (коефіцієнт завантаження СМО) ρ, в залежності від ступеня самоподібності трафіку.

Характер наданої залежності такий, що розбіжність в показниках зростає по мірі зростання інтенсивності вхідного потоку та, одночасно, фактору самоподібності.

При значенні ρ = 0,8 и H = 0,7 розбіжність в значенні $W_{СИСТ}$ сягає 230% (!!).

Кількісно це еквівалентно похибки у визначенні показників функціонування СМО при використанні традиційних, Пуассоновських моделей [2].

Отже, в разі використання традиційних моделей СМО для прогнозування показників якості обслуговування в СМО із ознаками самоподібності трафіку похибка може сягати значних значень!

По аналогії із попередньою залежністю, при значенні ρ = 0,8 и H = 0,7 розбіжність в значенні середнього часу очікування заявки $W_{ОЧ}$ сягає 200% (!).

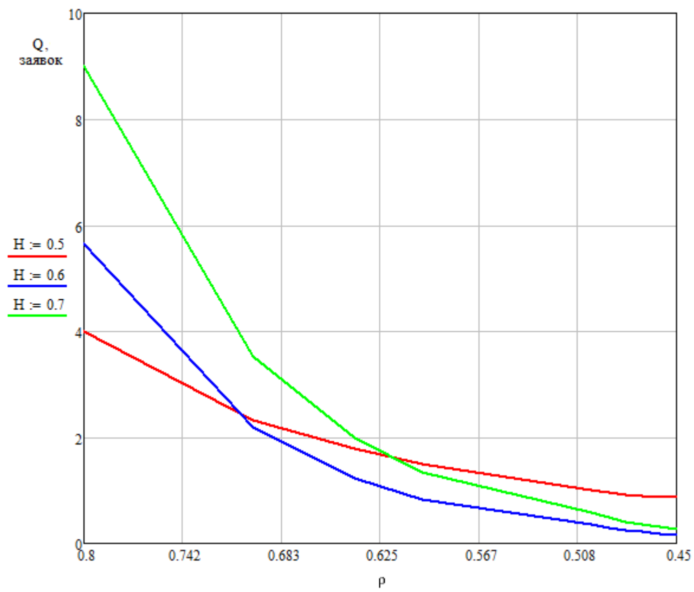

Рис. 3. Середня кількість заявок при різних значеннях параметру Херста.

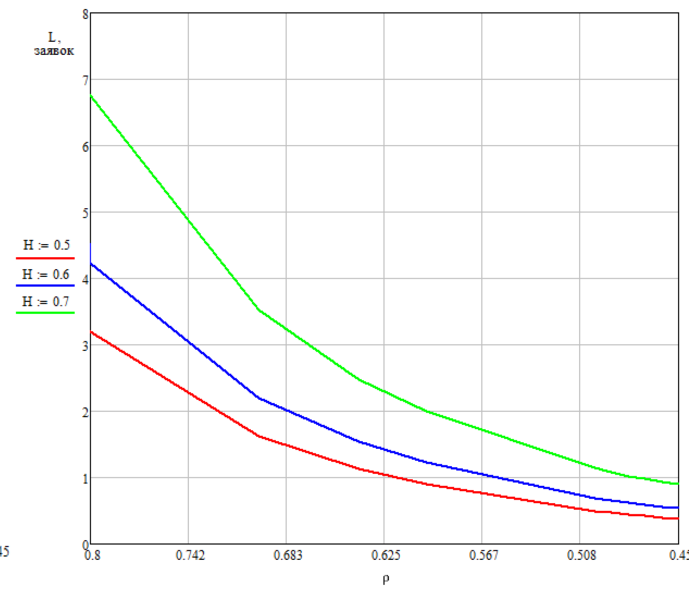

Рис. 4. Довжина черги заявок при різних значеннях параметру Херста.

При значенні ρ = 0,8 и H = 0,7 розбіжність в значенні середньої кількості заявок $Q_{заявок}$ сягає 225% .

При значенні ρ = 0,8 и H = 0,7 розбіжність в значенні довжини черги заявок $L_{заявок}$ сягає 220%.

Тому, отримавши графіки (рис, 1 – рис.4), можна зробити загальний висновок, що. якщо не враховувати кількісну характеристику ступені самоподібності трафіку, тобто параметр Херста H, то неможливо адекватно представити характеристики для задоволення якості обслуговування в хмарному середовищі.

Отже, важливою умовою дослідження є використання розподілу Вейбулла, яке асимптотично (H = 0,5) прагне до розподілу Пуассона, а при збільшенні значення параметру Херста H, адекватно відображає властивості СМО із самоподібністю. Жоден інший розподіл не надає такої можливості опису СМО із самоподібністю, тому що не має властивості асимптотичного прагнення до математичних властивостей розподілу Пуассона.

Висновки. В доповіді методики знаходження значень параметрів якості обслуговування в СМО досліджено за допомогою формул Літтла, який є одним із основоположників теорії масового обслуговування.

Важливим моментом для аналізу параметрів щодо забезпечення якості обслуговування в СМО є використання властивості самоподібності, що визначає більш точні значення показників у порівнянні з аналізом параметрів при найпростішому потоці подій.

Для аналізу параметрів обслуговування в хмарному середовищі використовується СМО з розподілом Пуассона і з розподілом Вейбулла, який описує самоподібність при різних параметрах Херста (H), так як даний параметр визначає ступінь самоподібності.

Параметр Херста розглядається в діапазоні значень від 0,5 до одиниці. Чим ближче H до одиниці, тим більше проявляється властивість самоподібності.

Математична модель із розподілом Вейбулла асимптотично прагне до розподілу Пуассона при значенні коефіцієнта Херста H = 0,5.

При зростанні параметру Херста зростають значення розглянутих показників якості обслуговування, а саме: середній час перебування заявок в системі, середній час очікування, середня кількість заявок в СМО і довжина черги заявок.

Отже, в разі ігнорування фактору самоподібності система не буде відповідати очікуваним параметрам, що може призвести до суттєвої помилки у визначенні кількісних значень характеристик СМО, необхідних для забезпечення потрібної якості обслуговування користувачів.

Література

1. I.Strelkovskaya, I. Solovskaya, A. Makoganiuk, A. Balyk. Research of the quality characteristics of self-similar traffic of a mobile communication network on the basis of software release / International Research Journal. Information and telecommunication sciences: Volume 11 Number 2(21) July-December, 2020. – p. 51-57.
2. Giambene G. Queuing Theory and Telecommunications: Networks and Applications/ Giovanni Giambene. –Springer, 2014. – 516 p.
3. Kleinrock L. Queueing Systems: Problems and Solutions / Leonard Kleinrock. –Wiley-Interscience, 1996. – 240 p.
4. Little, J.D.C. (1961): A Proof for the Queueing Formula L = λW. Operations Research, Vol. 9 (1961), – pp. 383–387.
5. Стрелковская И.В., Григорьева Т.И., Соловская И.Н. Обслуживание самоподобного трафика в СМО G/M/1 с распределением Вейбулла / Известия ВУЗов. Радиоэлектроника, 2018, т.61, № 3. – с.173 – 178.