

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МІЖНАРОДНИЙ ГУМАНІТАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МІЖНАРОДНА КОНФЕРЕНЦІЯ

ПЕРЕДОВІ ТЕХНОЛОГІЇ В ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІЙ ІНЖЕНЕРІЇ (ATICE'2025)

ОДЕСА, УКРАЇНА, 18 ЛИПНЯ 2025 Р.

МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ

ОДЕСА

2025

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
INTERNATIONAL HUMANITARIAN UNIVERSITY

INTERNATIONAL CONFERENCE

ADVANCED TECHNOLOGY

IN INFORMATION AND COMMUNICATION

ENGINEERING

(ATICE'2025)

ODESA, UKRAINE, JULY 18, 2025

CONFERENCE PROCEEDINGS

ODESA

2025

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МІЖНАРОДНИЙ ГУМАНІТАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**ПЕРЕДОВІ ТЕХНОЛОГІЇ
В ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІЙ
ІНЖЕНЕРІЇ
МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ**

Одеса, Україна, 18 липня 2025 р.



Видавничий дім
«Гельветика»
2025

**MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
INTERNATIONAL HUMANITARIAN UNIVERSITY**

**International Conference “Advanced Technology in
Information and Communication Engineering”
(ATICE’2025)**

Odesa, Ukraine, July 18, 2025

Conference Proceedings



Видавничий дім
«Гельветика»
2025

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МІЖНАРОДНИЙ ГУМАНІТАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Міжнародна конференція «Передові технології
в інформаційно-комунікаційній інженерії»
(ПТІКІ'2025)**

Одеса, Україна, 18 липня 2025 р.

Матеріали конференції



Видавничий дім
«Гельветика»
2025

International Conference “Advanced Technology in Information and Communication Engineering” (ATICE'2025): Conference Proceedings. Odesa : International humanitarian university, 2025, 123 p.

DOI:

Міжнародна конференція «Передові технології в інформаційно-комунікаційній інженерії» (ATICE'2025): Матеріали конференції. Міжнародний гуманітарний університет, 2025. – Одеса: Видавничий дім «Гельветика», 2025. – 123 с.

ISBN 978-617-554-582-9

Збірка містить праці Міжнародної конференції з інформаційних систем, технологій захисту інформації, використання сучасних інформаційних технологій в управлінні системами за різними галузями народного господарства.

Матеріали публікуються в авторській редакції.

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

Голова

КІВАЛОВ С.В. – д.т.н., проф., Міжнародний гуманітарний університет, м.Одеса, Україна.

Співголови

СТРЕЛКОВСЬКА І.В. – д.т.н., проф., Міжнародний гуманітарний університет, м.Одеса, Україна.

УРИВСЬКИЙ Л.О. – д.т.н., проф., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м.Київ, Україна.

Члени організаційного комітету

БЕРКМАН Л.Н. – д.т.н., проф., Державний університет телекомунікацій, м.Київ, Україна.

КЛИМАШ М.М. – д.т.н., проф., Національний університет «Львівська політехніка», м.Львів, Україна.

ЛЕМЕШКО А. В. – д.т.н., проф., Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків, Україна.

РОЗЕНВАССЕР Д.М. – к.т.н., доц., Міжнародний гуманітарний університет, м.Одеса, Україна.

РИХЛІК А. – к.т.н., Лодзький технічний університет, м.Лодзь, Польща

СЕМЕНКО А.І. – д.т.н., проф., Національний авіаційний університет, Київ, Україна.

СІМЕНС Е. – д.т.н., проф., Анхальтський університет прикладних наук, м.Кетен, Німеччина.

СОЛОВСЬКА І.М. – к.т.н., доц., Міжнародний гуманітарний університет, м.Одеса, Україна.

СУНДУЧКОВ К.С. – д.т.н., проф., Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна.

РЕДАКЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

СОЛОВСЬКА І.М. – к.т.н., доц., Міжнародний гуманітарний університет, м.Одеса, Україна.

РОЗЕНВАССЕР Д.М. – к.т.н., доц., Міжнародний гуманітарний університет, м.Одеса, Україна.

КОМІТЕТ МІЖНАРОДНИХ ЗВ'ЯЗКІВ

СТРЕЛКОВСЬКА І.В. – д.т.н., проф., Міжнародний гуманітарний університет, м.Одеса, Україна.

ГЛОБА Л. С. – д.т.н., проф., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м.Київ, Україна.

ВЧЕНИЙ СЕКРЕТАР

СОЛОВСЬКА І.М. – к.т.н., доц., Міжнародний гуманітарний університет, м.Одеса, Україна.

ГРИГОР'ЄВА Т.І. – к.т.н., доц., Міжнародний гуманітарний університет, м.Одеса, Україна.

ТЕХНІЧНО-ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ

СТРЕЛКОВСЬКА І.В. – д.т.н., проф., Міжнародний гуманітарний університет, м.Одеса, Україна.

УРИВСЬКИЙ Л.О. – д.т.н., проф., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м.Київ, Україна.

ГЛОБА Л.С. – д.т.н., проф., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м.Київ, Україна.

СЕКЦІЇ

СЕКЦІЯ 1. ІНЖЕНЕРІЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

СТРЕЛКОВСЬКА І.В. – д.т.н., проф., Міжнародний гуманітарний університет, м.Одеса, Україна.

ГЛОБА Л.С. – д.т.н., проф., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м.Київ, Україна.

ГРИГОР'ЄВА Т.І. – к.т.н., доц., Міжнародний гуманітарний університет, м.Одеса, Україна.

СЕКЦІЯ 2. КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ ТА КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

МІРОШНИК М.А. – д.т.н., проф., Міжнародний гуманітарний університет, м.Одеса, Україна.

СОЛОВСЬКА І.М. – к.т.н., доц., Міжнародний гуманітарний університет, м.Одеса, Україна.

РУСУ О.П. – к.т.н., доц., Міжнародний гуманітарний університет, м.Одеса, Україна.

СЕКЦІЯ 3. КІБЕРБЕЗПЕКА ТА ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЇ

ЛУНТОВСЬКИЙ А.О. – д.т.н., проф., Державна академія Саксонії «Беруфсакадемія», м. Дрезден, Німеччина.

ЙОНА Л.Г. – к.т.н., доц., Міжнародний гуманітарний університет, Одеса, Україна.

МАНЬКО Д.Г. – д.ю.н., проф., Міжнародний гуманітарний університет, м.Одеса, Україна.

СЕКЦІЯ 4. ЕЛЕКТРОННІ КОМУНІКАЦІЇ ТА РАДІОТЕХНІКА

УРИВСЬКИЙ Л.О. – д.т.н., проф., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м.Київ, Україна.

ЛЕМЕСЬКО А.В. – д.т.н., проф., Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків, Україна.

ПЕДЯШ В.В. – к.т.н., доц., Міжнародний гуманітарний університет, м.Одеса, Україна.

СЕКЦІЯ 5. ІНФОРМАТИКА ТА ПРОГРАМУВАННЯ В ОСВІТІ

КУЧАЙ О.В. - д.п.н., проф., Національний університет біоресурсів і природокористування України.

ЖИГУЛІН О.А. – д.е.н., проф., Міжнародний гуманітарний університет, Одеса, Україна

ГОРБАЧОВ В.Е. – к.т.н., доц., Міжнародний гуманітарний університет, м.Одеса, Україна.

телекомунікацій», /Збірник матеріалів. - 2021, с.53...55.
<https://its.kpi.ua/sites/default/files/NDI%20TK%202021/Конференція%20ПТ/Збірники%20ПТ/Збірник%20матеріалів%20конференції%20ПТ%202021%20ISSN%20p.pdf>

5. Уривський Л. О., Прокопенко К. А., Наталенко А. І. Векторно-фазовий метод для визначення показників завадостійкості багатопозиційних сигналів. — Зв'язок, № 12, 2012. - с.58...63.

6. Uryvsky L., Moshynska A., Qsypshuk S., Shmihel B. Comparison of methods for determining noise immunity indicators of a multiservice transmission system. / Advances in Information and Communication Technologies. Lecture Notes in Electrical Engineering, vol 560. / monograph. - Springer, Cham, p.p. 167...185. (2019) https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-16770-7_8

УДК 519.872

Уривський Л.О.
д.т.н., професор
КПІ ім. Ігоря Сікорського
leonid_uic@ukr.net

Скоlecь А. В.
Магістр ІТС
КПІ ім. Ігоря Сікорського
krikliyanastya@gmail.com

МОДЕЛЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ QOS У СМО З УРАХУВАННЯМ САМОПОДІБНОГО ТРАФІКА: ПІДХІД НА ОСНОВІ РОЗПОДІЛУ ВЕЙБУЛЛА

Анотація. Досліджено вплив властивості самоподібності трафіка на якісні показники функціонування систем масового обслуговування (СМО). Побудовано математичну модель одноканальної СМО $M/M/1/\infty$ з найпростішим потоком та узагальнено її на випадок вхідного потоку, описаного розподілом Вейбулла, що репрезентує самоподібність (параметр Херста $H=0,6-0,8$). Порівняльний аналіз середнього часу очікування, часу перебування заявки в системі, довжини черги та кількості заявок показав збільшення цих величин у 2-8 разів при $H \rightarrow 0,8$ порівняно з пуассонівською моделлю, що доводить необхідність урахування самоподібності при проектуванні сучасних телекомунікаційних мереж.

Результати численних емпіричних досліджень показали, що інтернет-трафік має властивість самоподібності, яка проявляється у вигляді довготривалої кореляції між подіями, а також наявності важкого хвоста у розподілі інтервалів між заявками. Така поведінка відрізняється від традиційних моделей, які базуються на припущенні про найпростіший (пуассонівський) потік. Ігнорування цієї властивості призводить до значних похибок при розрахунках характеристик систем масового обслуговування. У даній роботі досліджено вплив самоподібності на СМО шляхом використання Вейбуллівського розподілу, що наближує статистичні властивості реального інтернет-трафіку.

Метою є кількісна оцінка розбіжностей між показниками СМО з пуассонівським та самоподібним (Вейбуллівським) вхідним потоком і формулювання практичних рекомендацій.

У класичній теорії СМО, зокрема в моделі $M/M/1$, використовується припущення про незалежність подій та експоненційний розподіл часу між надходженням заявок і їх

обслуговуванням [1], що значно спрощує математичний аналіз. Основною перевагою цієї моделі є аналітична зручність і наявність замкнених формул для основних характеристик (затримки, черги, завантаження тощо). Однак з часом було виявлено, що багато реальних потоків, зокрема в інтернет трафіку, не відповідають таким припущенням.

Зокрема, у 1990-х роках у серії класичних досліджень (W. Leland, M. Taqqu, W. Willinger, D. Wilson) [2] було встановлено, що інтернет-трафік має властивість **самоподібності**, яка проявляється в тому, що поведінка трафіку зберігається при масштабуванні часової осі.

Самоподібність – це статистична властивість трафіку, яка проявляється у вигляді довготривалої кореляції між подіями. Інтернет-трафік, зокрема у соціальних мережах, демонструє поведінку, за якої збільшення часової шкали не «згладжує» трафік, як це характерно для пуассонівських потоків. Така властивість описується параметром Херста [3] $H \in (0.5; 1)$. Чим ближче H до 1, тим виразніше проявляється самоподібність, зокрема у вигляді «сплесків» та «важких хвостів» у розподілах.

Для обґрунтування вибору статистичної моделі, придатної для опису самоподібного трафіку, було проведено порівняльний аналіз функцій розподілів. Встановлено, що функції з експоненційним розподілом та розподілом Вейбулла [4] мають характер показової функції, тоді як функція розподілу Парето має характер степеневі функції. Така відмінність призводить до принципово різних властивостей моделі. Крім того, розподіл Вейбулла має важливу асимптотичну властивість: при $H=0.5$ він збігається з експоненційним розподілом, що відповідає пуассонівському вхідному потоку. Таким чином, використання розподілу Вейбулла дозволяє узагальнити класичну модель та забезпечити поступовий перехід від випадку без самоподібності до режиму з довготривалими кореляціями при $H>0.5$.

Науково обґрунтовану позицію щодо доцільності використання розподілу Вейбулла при опису СМО із властивостями самоподібності можна бачити в наукових роботах [5-7].

Було сформульовано відповідні формули, які описують основні показники ефективності функціонування СМО: середній час перебування заявки в системі $W_{\text{сист}}$, середній час очікування $W_{\text{оч}}$, середню довжину черги L та середню кількість заявок у системі Q . У цих формулах ураховується вплив коефіцієнта самоподібності σ , який є функцією від параметра Херста та коригує стандартні експоненціальні вирази для більш точної апроксимації реального процесу.

Для розрахунку зазначених показників використовуються наступні формули [8]:

Таблиця 1 – Формули для виконання розрахунків

Показник	Пуассон (М/М/1/∞)	Вейбулл (М/М/1/∞)
Середня кі-сть заявок в СМО (Q)	$Q = \frac{\rho}{1 - \rho}$	$Q = \frac{\rho}{1 - \sigma}$
Середня довжина черги (L)	$L = \frac{\rho^2}{1 - \rho}$	$L = \frac{\rho \cdot \sigma}{1 - \sigma}$
Середній час перебування заявки в системі ($W_{\text{сист}}$)	$W_{\text{сист}} = \frac{1}{\mu \cdot (1 - \rho)}$	$W_{\text{сист}} = \frac{1}{\mu \cdot (1 - \sigma)}$
Середній час очікування заявки в черзі ($W_{\text{оч}}$)	$W_{\text{оч}} = \frac{\rho}{\mu \cdot (1 - \rho)}$	$W_{\text{оч}} = \frac{\sigma}{\mu \cdot (1 - \sigma)}$

Для доведення важливості врахування фактору самоподібності проведено графічне порівняння показників якості обслуговування при розподілі Пуассона і розподілі Вейбулла, використовуючи представлені формули.

Для розрахунку значення σ (сігми) для параметру Херста рівним 0,6, 0,7 та 0,8 було використано програмне забезпечення “Matlab” та ПЗ “Excel” для розрахунку формул для отриманих значень та побудови і дослідження графіків.

Будуючи графіки для кожного показника якості обслуговування, зображається залежність відповідного показника від інтенсивності навантаження для кожного параметру Херста, зокрема $H=0,5$, що відповідає розподілу Пуассона, та $H=\{0,6, 0,7, 0,8\}$, що відповідає розподілу Вейбулла (як ознака самоподібності).

Деякі результати представлені у вигляді графіків залежностей кожного з показників від параметра H [9, 10].

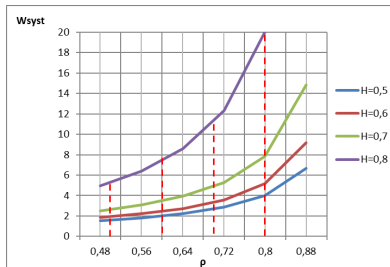


Рисунок 1 – Середній час перебування заявки в системі при різних значеннях параметру Херста для $\mu = 1,25$

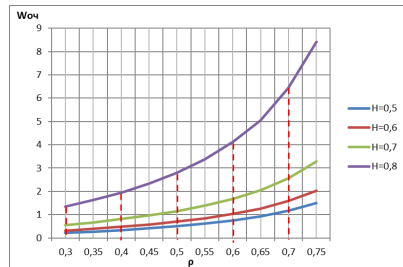


Рисунок 2 – Середній час очікування заявки при різних значеннях параметру Херста для $\mu = 2$

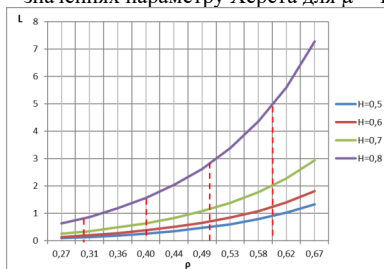


Рисунок 3 – Довжина черги заявок при різних значеннях параметру Херста для $\mu = 2,25$

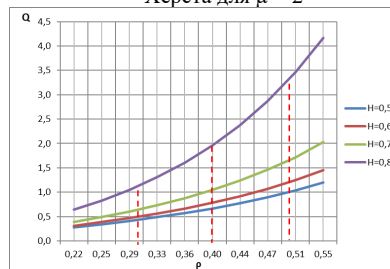


Рисунок 4 – Середня кількість заявок при різних значеннях параметру Херста для $\mu = 2,75$

Аналізуючи результати залежностей показників самоподібного потоку від найпростішого потоку, їх можна об'єднати вираховавши середнє значення залежностей між різними інтенсивностями обслуговування для кожного показника якості обслуговування і отримуємо такі інтервали змін середніх значень:

Таблиця 2 – Інтервали змін середніх значень показників якості обслуговування

H	$\Delta W_{\text{сист}}$	$\Delta W_{\text{оч}}$	ΔL	ΔQ
0,6	1,2-1,3	1,3-1,5	1,3-2	1,1-1,3
0,7	1,5-2	2,1-2,5	1,8-3,3	1,4-2
0,8	2,7-5	5,3-6,3	5,3-8,3	2,6-5

З таблиці видно, що найбільш чутливим показником щодо врахування фактора самоподібності є показники середнього часу очікування $W_{\text{оч}}$ та середньої довжини черги L , для яких розбіжність у показниках у порівнянні із розподілом Пуассона складає до 6-8 разів.

Решта показників теж вразлива щодо обрання умов функціонування інформаційної системи, оскільки розбіжністю у 2-3 разів теж нехтувати не можна.

Висновки

Результати проведеного моделювання свідчать про істотний вплив самоподібності вхідного трафіку на характеристики систем масового обслуговування. При зростанні параметра Херста H спостерігається багаторазове погіршення показників якості обслуговування – зокрема, середній час очікування та довжина черги можуть збільшуватися у 2-8 разів. Модель на основі розподілу Вейбулла забезпечує узагальнення класичних підходів і дозволяє точно описати перехід від пуассонівської до самоподібної поведінки трафіку.

Подальші дослідження планується спрямувати на розширення представленої моделі до випадку багатоканальної СМО з обмеженою чергою, де вплив самоподібності може виявлятися інакше внаслідок одночасного обслуговування кількох заявок та наявності ймовірності втрат. Такий підхід дозволить сформулювати прикладні рекомендації щодо ефективного використання системних ресурсів в умовах трафіку з довготривалою залежністю.

Література

1. Kleinrock, L. Queueing Systems. Volume 1: Theory // Wiley-Interscience, 1975. – 480 p.
2. Leland, W. E., Taqqu, M. S., Willinger, W., Wilson, D. V. On the self-similar nature of Ethernet traffic (extended version) // IEEE/ACM Transactions on Networking. – 1994. – Vol. 2(1). – P. 1–15.
3. Hurst, H.E. (1951). "Long-term storage capacity of reservoirs". Transactions of the American Society of Civil Engineers. v.116, p.770.
4. Weibull, W. A statistical distribution function of wide applicability. J. Appl. Mech. 1951, 18, 293–297.
5. Strelkovskaya I., Solovskaya I., Grygoryeva T., Paskalenko S. The solution to the problem of the QoS characteristics definition for self-similar traffic serviced by the W/M/1 QS // 2016 Third International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology / October 4-6, 2016, Kharkiv, Ukraine – p.p. 21-23.
6. Strelkovskaya I.V. et al, Self-similar traffic in G/M/1 queue defined by the Weibull distribution», Radioelectronics and Communications Systems, V. 61, no. 3(2018), pp. 173-180, 2018. <https://doi.org/10.20535/S0021347018030056>.
7. Strelkovskaya I.V. et al, Finding some QoS characteristics of self-similar traffic serviced by a mobile network // Proceedings 2nd IEEE International Conference Advanced Information and Communication Technologies-2017, July 4-7, 2017. – pp. 146-149. <https://doi.org/10.1109/AIACT.2017.8020086>
8. Уривський Л.О., Криклива А.В. Дослідження динаміки показників обслуговування в СМО із самоподібним трафіком // К.: НН ІТС КПІ ім. Ігоря Сікорського, XVI Міжнародна НТК «Перспективи телекомунікацій», /Збірник матеріалів. – 2022, с.53-58.
9. Uryvsky L., Skolets A. Analysis of the Influence of the Self-Similarity Factor on the Characteristics of Mass Service Systems through Quantitative Assessment / 2023 IEEE International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo) / 13-18 Nov. 2023 – p.p. 136-140.
10. Уривський Л.О., Сколець А.В. Дослідження впливу фактору самоподібності на функціонування СМО. - К.: НН ІТС КПІ ім. Ігоря Сікорського, XVII Міжнародна НТК «Перспективи телекомунікацій» / Збірник матеріалів. – / К.: НН ІТС КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2023, с. 68-71.