

**Захаржевський А.Г.**

*Державний університет телекомунікацій, м. Київ*

## **РОЗРОБКА СИСТЕМНОЇ МОДЕЛІ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ У ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ ЗВ'ЯЗКУ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НИЗЬКОЇ ЗАТРИМКИ ТРАФІКУ**

**Анотація:** Досліджено питання якості обслуговування у мережах останнього покоління. Оцінюється вплив різноманітного трафіку на основні показники якості обслуговування, що відображають ймовірність втрати пакетів та затримку доставки за часом. Розроблено модель якості обслуговування у інфокомунікаційних мережах зв'язку для забезпечення низької затримки трафіку. З урахуванням концепції якості в інфокомунікаційних мережах стає важливим питання якості обслуговування у мережах останнього покоління з позицій забезпечення високої надійності та достовірності передачі інформації, що в значній мірі впливає на якість наданих користувачеві послуг. Це, природно, визначає необхідність контролю різних параметрів обладнання та ліній зв'язку, які визначаються як особливостями системи передачі, так і параметрами орендованих каналів і трактів. Основою для визначення якості обслуговування, як було зазначено вище, є положення міжнародної концепції якості обслуговування (QoS). За вимогами запропонованої в концепції моделі контролю відповідності, підхід до показників якості структурно пов'язаний з еталонною моделлю OSI.

Основними перевагами сучасних технологій інфокомунікаційних мережах зв'язку є безумовно 5G-технології які вже підтримують такі ресурсомісткі послуги, як масивний міжмашинний зв'язок, наднадійний зв'язок та зв'язок із низькою затримкою. Всі вони вимагають високої швидкості передачі даних, низької затримки одиниці мілісекунд, а також підключення мільйонів пристроїв. У той же час необхідно забезпечити високий рівень якості обслуговування (QoS), що відіграє важливу роль у технології 5G.

Запропонована модель дає можливість оцінити не лише якість обслуговування об'єднаного потоку трафіку послуг інтернету речей, тактильного інтернету та доповненої реальності, але також затримку доставки та ймовірність втрати пакету.

Результати моделювання показали, що параметри якості обслуговування трафіку інтернету речей та інших сучасних додатків помітно відрізняються під час обслуговування сукупного потоку. При вивченні обслуговування агрегованого трафіку встановлено, що для нього ймовірність втрати пакета більша, ніж для трафіку інтернету речей. Крім того, ця різниця стає більш істотною при збільшенні інтенсивності навантаження, що надходить.

**Ключові слова:** якість обслуговування (QoS), інфокомунікаційні мережі зв'язку, ймовірність втрати пакетів, системна модель, низька затримка трафіку

**Zakharzhevsky A.H.**

*State University of Telecommunications, Kyiv*

## **DEVELOPMENT OF A SYSTEMIC MODEL OF THE QUALITY OF SERVICE IN INFOCOMMUNICATION COMMUNICATION NETWORKS TO ENSURE LOW TRAFFIC DELAY**

**Abstract:** The question of quality of service in networks of the latest generation is studied. The impact of heterogeneous traffic on the main quality of service indicators reflecting the probability of packet loss and delivery delay over time is evaluated. A model of quality of service in information communication networks has been developed to ensure low traffic delay. Taking into account the concept of quality in information communication networks, the issue of quality of service in networks

*of the latest generation becomes important from the standpoint of ensuring high reliability and reliability of information transmission, which significantly affects the quality of services provided to the user. This, of course, determines the need to control various parameters of equipment and communication lines, which are determined both by the features of the transmission system and by the parameters of leased channels and tracts. The basis for determining the quality of service, as mentioned above, is the provision of the international concept of quality of service (QoS). According to the requirements of the compliance control model proposed in the concept, the approach to quality indicators is structurally related to the OSI reference model.*

*The main advantages of modern technologies of information communication networks are undoubtedly 5G technologies, which already support such resource-intensive services as massive machine-to-machine communication, ultra-reliable communication and low-latency communication. All of them require high data transfer rates, low millisecond latency, and connectivity of millions of devices. At the same time, it is necessary to ensure a high level of quality of service (QoS), which plays an important role in 5G technologies.*

*The proposed model makes it possible to evaluate not only the quality of service of the combined traffic flow of Internet of Things, tactile Internet, and augmented reality services, but also the delivery delay and the probability of packet loss.*

*The simulation results showed that the parameters of the quality of service of the traffic of the Internet of Things and other modern applications differ significantly during the service of the aggregate flow. When studying the service of aggregated traffic, it was established that the probability of packet loss is higher for it than for Internet of Things traffic. In addition, this difference becomes more significant when the intensity of the incoming load increases.*

**Keywords:** *quality of service (QoS), information communication networks, packet loss probability, system model, low traffic delay*

## 1. Вступ

Випереджуючий розвиток нових телекомунікаційних технологій призвів до суттєвих змін у мережах та системах зв'язку, що сприяло значному збільшенню обсягу трафіку. При цьому домінуючі сьогодні сценарії, орієнтовані на людину як користувача мережі, будуть доповнені величезною кількістю машин, що спілкуються між собою і з людиною. Співіснування людино-орієнтованих та машинних додатків призведе до великої різноманітності мережевих послуг [1]. Технології 5G вже підтримує такі ресурсомісткі послуги, як масивний міжмашинний зв'язок, наднадійний зв'язок та зв'язок із низькою затримкою. Всі вони вимагають високої швидкості передачі даних, низької затримки одиниці мілісекунд, а також підключення мільйонів пристроїв на 1 км<sup>2</sup> [2]. У той же час необхідно забезпечити високий рівень якості обслуговування (QoS), що відіграє важливу роль у технології 5G.

**2. Аналіз досліджень і публікацій.** Сучасні ІК-мережі зв'язку включають в себе три види генераторів трафіку: тактильного, доповненої реальності та IoT. Інтернет речей (IoT) є міжмашинною (M2M) взаємодією, яка потребує зв'язку з малою затримкою, може поєднати мільярди датчиків, а також розширити розуміння для сенсорного сприйняття в різноманітних середовищах. Розвиток IoT – надзвичайно важливий крок, що стосується практично всіх сфер людської діяльності. Поширення IoT сприятиме доступності все більшої кількості інформації, розвитку аналітичних можливостей, прийняття рішень та дій на основі результатів мережі.

Ще одна технологія, що вимагає низьких затримок та високого QoS, – тактильний інтернет, створений на базі віддаленого керування роботами аватарами, роботами маніпуляторами і т.п. у режимі реального часу [3]. ТІ використовуватиме традиційний проводований інтернет, мобільний інтернет та IoT як наскрізну транспортну інфраструктуру. Крім того, можна передбачити, що ТІ відкриває нову перспективу для взаємодії людини з

машиною завдяки ультрамалій затримці при побудові кооперативних систем в реальному часі [1-4].

Третьою важливою технологією, широкомасштабне впровадження якої намічено в мережах 5G, є доповнена реальність, що також вимагає зв'язку з низькою затримкою і використовується в багатьох додатках: управління роботами, безпілотними літальними апаратами, медицина, технічне обслуговування, ремонт складного обладнання, ігрова та розважальна індустрія, та моніторинг у мережах зв'язку [5-7]. Вимога доставки даних між великою кількістю пристроїв, які значно перевищують число абонентів існуючих мереж зв'язку, ставить завдання забезпечення доступності, QoS, надійності та стабільності роботи мереж зв'язку в таких умовах.

Трафік, створюваний пристроями IoT, може обслуговуватися та збиратися разом із трафіком інших комунікаційних послуг. Загалом характер трафіку IoT відрізняється від трафіку інших послуг, що потребує його досліджень та оцінки впливу на QoS [6]. [8] представлений аналіз моделей міжмашинного трафіку (M2M) і введено визначення типів потоків трафіку для масових подій. Крім того, [9] наведено модель обслуговування і шаблон трафіку для доповненої реальності, поєднані з концепцією IoT, розроблений метод оцінки QoS. У [10] запропонована система черг (QS) як модель для оцінки QoS при спільному використанні технологій IT та IoT.

У статті розглянуто комплексну аналітичну модель для потоків трафіків IT, AR, IoT та оцінки QoS за параметрами ймовірності втрати пакетів та затримки доставки.

**3. Мета дослідження.** Виходячи з результатів аналізу та наявних рішень в сфері дослідження питань якості обслуговування у мережах останнього покоління визначимо, що метою даної публікації є розробка системної моделі якості обслуговування у інфокомунікаційних мережах зв'язку для забезпечення низької затримки трафіку, що дозволить надавати широкий спектр послуг великій кількості користувачів на основі технологій останнього покоління.

#### 4. Системної моделі якості обслуговування у ІК-мережах зв'язку

Системна модель якості обслуговування у ІК-мережах зв'язку включає три види генераторів трафіку: тактильного, позначеного як H2H+TI (H2H – Human to Human, TI – тактильний інтернет), доповненої реальності та IoT, що імітує один або кілька пристроїв IoT. Всі ці генератори поєднуються в один вузол і спільний потік надходить до системи масового обслуговування (СМО) з комбінованою системою обслуговування, як показано на рис. 1.

Трафік, що генерується пристроями IoT, поділяється на три характерні типи трафіків [8]:

- 1) детермінований – генерується пристроями, що передають інформацію за розкладом;
- 2) службовий – необхідний підтримки функціонування системи;
- 3) опосередкований – генерується в результаті реакції на ті або інші зовнішні події.

Трафік, створюваний пристроями IoT, може обслуговуватися разом із трафіком інших послуг зв'язку. Оскільки характер трафіку IoT зазвичай відрізняється від трафіку інших послуг мережі, необхідно оцінювати його характеристики, а також вплив на інші послуги QoS при плануванні мереж зв'язку [10].

У статті QoS системи визначатимемо ймовірністю відмови в обслуговуванні (втрати пакетів)  $p$  та затримкою пакетів, де затримка виникає за рахунок часу очікування  $\bar{w}$  черги та часу обслуговування пакетів із середньою тривалістю обслуговування  $\bar{t}$  (рис. 1). На вході систему характеристики змішаного потоку визначаються властивостями всіх потоків. Тому в цілому потік відрізняється від властивостей потоків як трафіку IoT, так і традиційного трафіку.

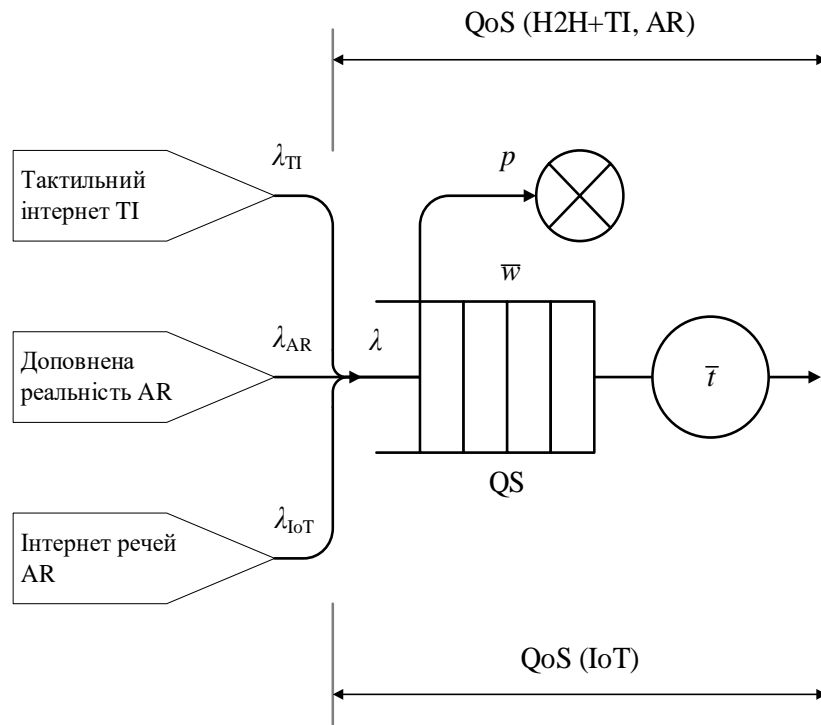


Рис. 1. Системна модель

Нижче наведено оцінки показників QoS окремо для тактильного потоку інтернет-трафіку (H2H+TI), потоків трафіку AR та IoT.

Розглянемо аналітичну модель для оцінки ймовірності втрат та затримки пакетів за рахунок часу очікування у черзі та тривалості обслуговування, представлену моделлю G/G/1/k.

Для оцінки ймовірності втрати пакетів при відомих параметрах розподілу, що описують трафік та процес обслуговування пакетів [10], може бути використаний вираз:

$$p = \frac{1-\rho}{1-\rho \frac{c_a^2+c_s^2}{2}} \rho \frac{c_a^2+c_s^2}{2} n_b+1, \tag{1}$$

де  $\rho$  – завантаження системи;  $n_b$  - розмір буфера;  $C_a^2$  та  $C_s^2$  – квадратичні коефіцієнти варіації розподілів вхідного потоку та тривалості обслуговування відповідно.

Рівняння для оцінки часу доставки пакетів [8, 10]:

$$T = \frac{\rho \bar{t}}{2(1-\rho)} \left( \frac{\sigma_a^2+\sigma_s^2}{\bar{t}^2} \right) \left( \frac{\bar{t}^2+\sigma_s^2}{a^2+\sigma_s^2} \right) + \bar{t}, \tag{2}$$

де  $\sigma_a^2$  та  $\sigma_s^2$  – значення дисперсій інтервалу часу між надходженням пакетів та тривалістю обслуговування відповідно;  $\bar{a}$  – середнє значення інтервалу між пакетами;  $\bar{t}$  – середня тривалість обслуговування.

Відомо, що потоки трафіку TI і AR мають властивості самоподібних потоків. Трафік же IoT можна віднести до детермінованих потоків [8], оскільки найчастіше у додатках IoT цей трафік формується шляхом періодичного процесу надсилання даних системи моніторингу та/або диспетчерського управління [10].

### 5. Імітаційна якість обслуговування у ІК-мережах зв'язку

Середовище моделювання було реалізовано на Anylogic. При цьому необхідно визначити типи розподілів кожного трафіку. Як зазначено вище, перші два типи трафіку (TI і AR) мають властивості самоподібного потоку і вимагають генерації послідовності незалежних подій і випадкової зміни часових інтервалів між ними. Трафік H2H+TI має розподіл Парето [5, 7] з функцією щільності ймовірності:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{ax_m^a}{a^{k+1}}, & x \geq x_m; \\ 0, & x < x_m, \end{cases}$$

де  $x_m$  та  $a$  — параметри розподілу. Математичне очікування та дисперсія визначаються як:

$$E(x) = \frac{ax_m}{a-1},$$

$$V(x) = \frac{ax_m^2}{(\alpha-1)^2(\alpha-2)}.$$

Моделювання трафіку AR виконано за допомогою окулярів доповненої реальності, підключених до інтернету через Wi-Fi, та програми Wireshark для аналізу даних про трафік та визначення характеру розподілу (рис. 2). Функція щільності ймовірності тривалості обслуговування AR показано на рис. 3.

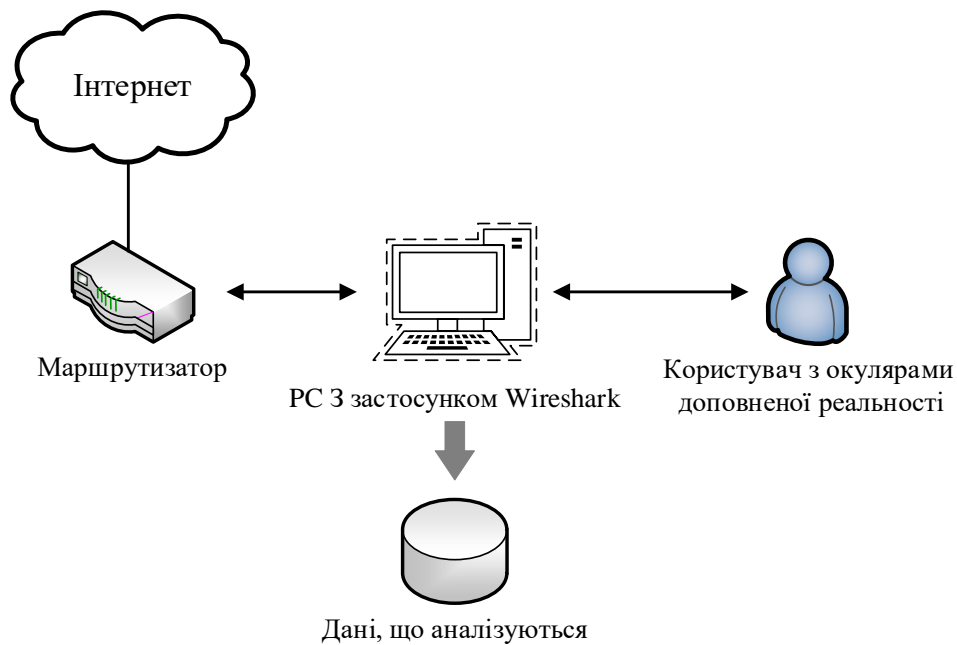


Рис. 2. Моделювання трафіку доповненої реальності

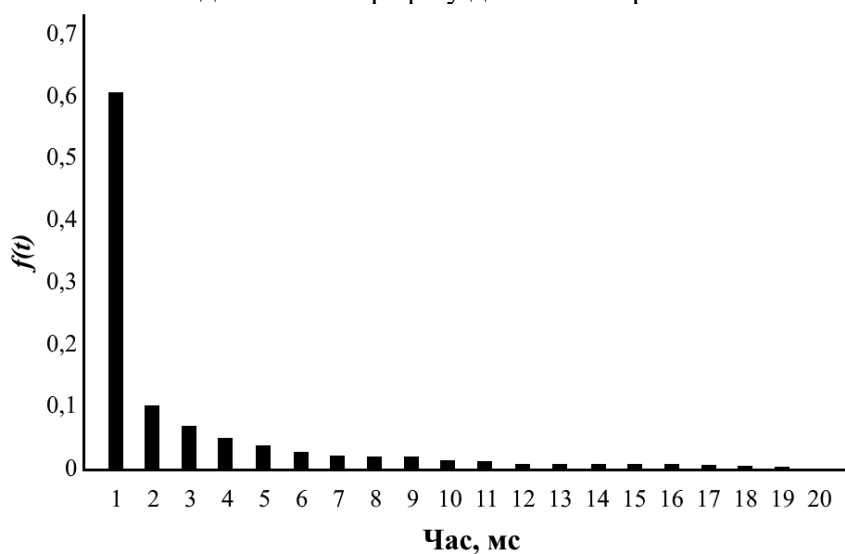


Рис. 3. Функція густини ймовірності тривалості обслуговування AR

Приклади реалізації самоподібного потоку для моделі з коефіцієнтом Херста  $H=0,88$  і найпростішого потоку з  $H=0,5$  представлені на рис. 4. Приклад реалізації агрегованих потоків трафіку для ПІ, AR та IoT з коефіцієнтом Херста  $H=0,6$  наведено на рис. 5.

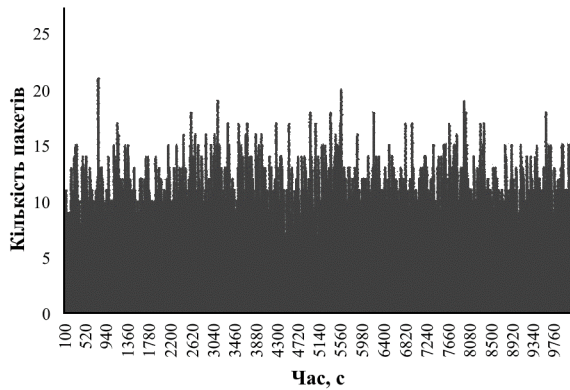


Рис. 4. Самоподібний та найпростіший потоки трафіку

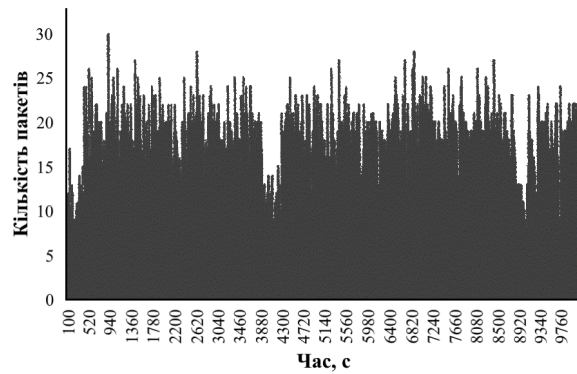


Рис. 5. Агреговані потоки трафіку

Коефіцієнти Херста оцінювалися шляхом оцінки та зміни дисперсії. Діаграми залежності дисперсії для вхідних та вихідних потоків з інтервалами агрегованих потоків показано на рис. 6. Коефіцієнти Херста для вхідного ( $H=0,731$ ) та вихідного ( $H=0,515$ ) потоків.

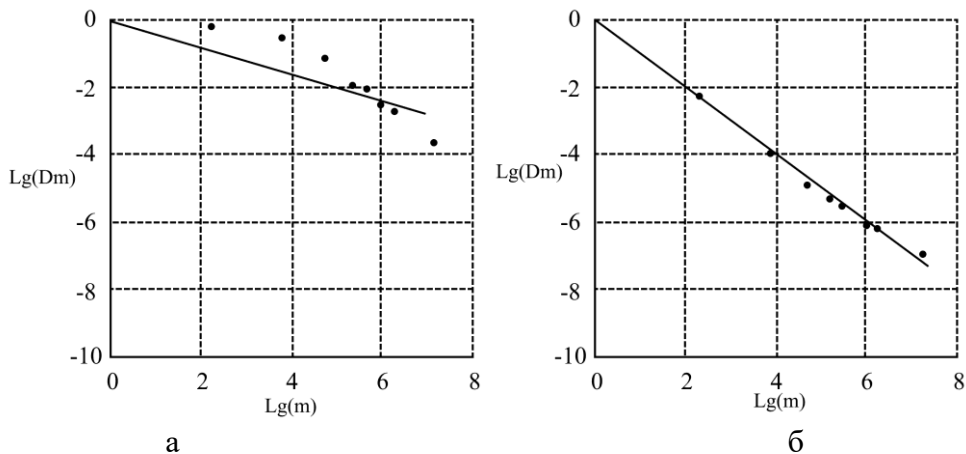


Рис. 6. Коефіцієнти Херста для вхідного (а) та вихідного (б) потоків

### 6. Результати моделювання

Розглянемо моделювання з використанням Anylogic та математичної моделі, представленої в рівняннях (1) та (2).

На рис. 7 та 8 наведено оцінку ймовірності втрат залежно від інтенсивності навантаження  $\rho$  при різних розмірах буфера  $n=2$  та 10. Штрихові криві – результати, отримані за формулою (1), а суцільні – оцінки моделювання на Anylogic. Для детермінованого потоку ймовірність втрати пакетів залежно від інтенсивності навантаження отримана для трафіку IoT, чорні пунктирні і суцільні криві показують результати для розмірів буфера 2 і 10. Видно, що обчислення, проведені (1), дають трохи завищений коефіцієнт втрат в обох випадках ( $n=2$  та 10).

Крім того, для самоподібного потоку наведені ймовірності втрати пакетів в залежності від інтенсивності навантаження для тактильного трафіку (червона крива) і AR (синя), отримані при моделюванні на Anylogic з розмірами буфера  $n=2$  і 10, червона пунктирна лінія відповідає обчисленням за формулою (1). Як бачимо, обчислення за формулою (1) також дають завищений коефіцієнт втрат при  $n=2$ . У той же час для  $n=10$  коефіцієнт втрат отримуємо трохи

заниженим. Зауважимо також, що ймовірність втрат з погляду AR дещо нижча за ймовірність втрат для ТІ і вище, ніж для IoT-трафіку.

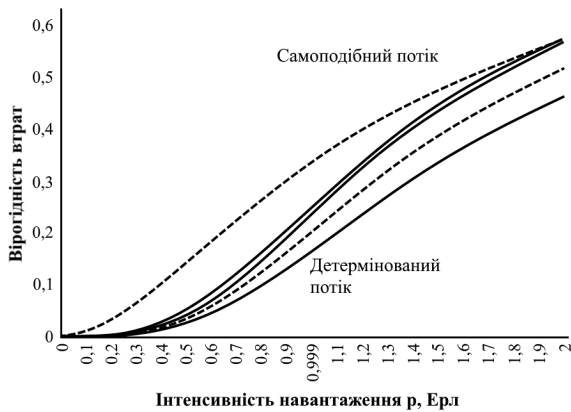


Рис. 7. Можливість втрат залежно від інтенсивності навантаження, розмір буфера  $n=2$

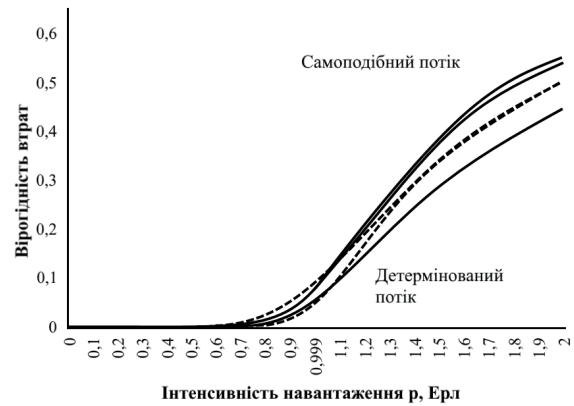


Рис. 8. Ймовірність втрат залежно від інтенсивності навантаження за розміром буфера  $n=10$

На рис. 9 та 10 представлені залежності затримки доставки пакетів від інтенсивності навантаження  $\rho$  для самоподібного потоку (чорна та червона пунктирні криві) та детермінованого (синя крива), а також для агрегованої моделі (сіра) за формулою (2) з буфером розмірами  $n=2$  та  $10$ .

Для детермінованого потоку час затримки доставки при інтенсивності навантаження менше затримки часу для самоподібного потоку, ТІ і AR для обох розмірів буфера. Крім того, час доставки для трафіку AR (штрихова червона крива) при  $n=2$  трохи менше, ніж час затримки ТІ (чорна крива). Тоді як за  $n=10$  затримка AR майже дорівнює затримці ТІ.

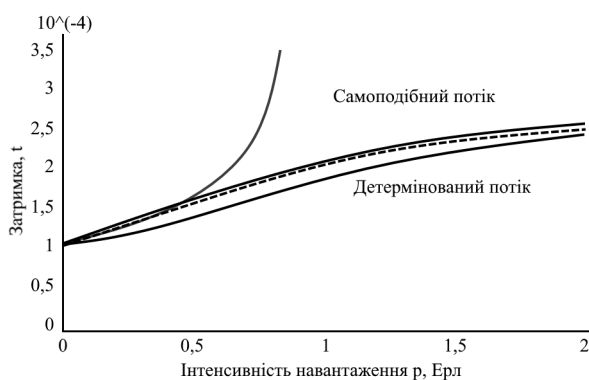


Рис. 9. Затримка доставки пакетів залежно від інтенсивності навантаження за розміром буфера  $n=2$

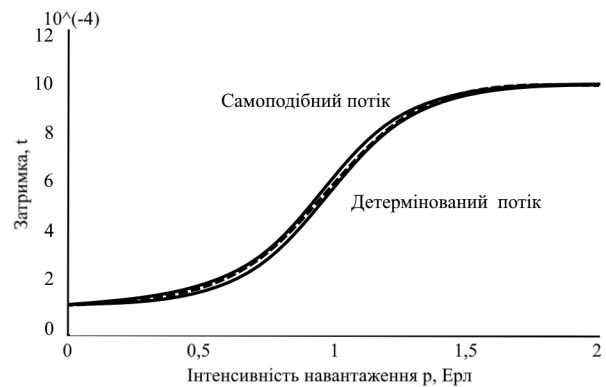


Рис. 10. Затримка доставки пакетів залежно від інтенсивності навантаження за розміром буфера  $n=10$

Залежність коефіцієнтів Херста від інтенсивності навантаження показано на рис. 11 та 12 при різних розмірах буфера. З малюнків видно, що у обох випадках ( $n=2$  і  $10$ ) коефіцієнти Херста обслуженого потоку зменшуються зі збільшенням інтенсивності завантаження  $\rho$  СМО.

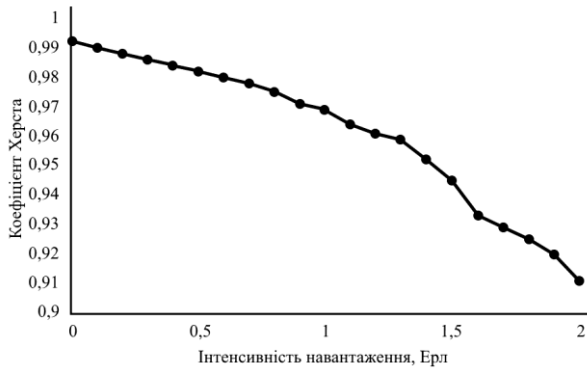


Рис. 11. Коефіцієнт Херста обслуженого потоку залежно від інтенсивності навантаження за розміром буфера  $n=2$

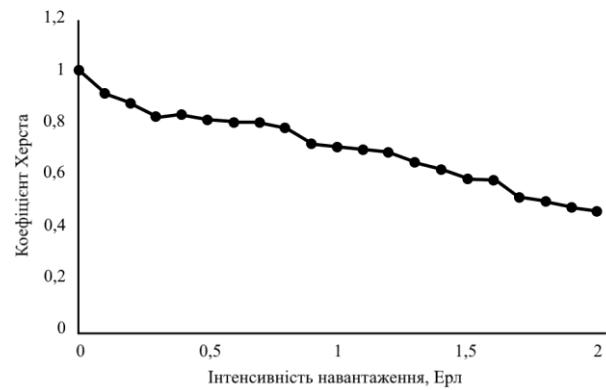


Рис. 12. Коефіцієнт Херста обслуженого потоку залежно від інтенсивності навантаження за розміром буфера  $n=10$

## 6. Висновки

Запропонована модель якості обслуговування у ІК-мережах зв'язку для забезпечення низької затримки трафіку дає можливість оцінити не лише якість обслуговування об'єднаного потоку трафіку послуг інтернету речей, тактильного інтернету та доповненої реальності, але також затримку доставки та ймовірність втрати пакету. Застосування моделі дозволило вивчити залежність якості обслуговування від властивостей потоків трафіку, що об'єднуються, і залежність властивостей обслуженого потоку від інтенсивності навантаження. Збільшення інтенсивності навантаження призводить до домінування впливу властивостей системи обслуговування, та її зниження – до домінування властивостей вхідного потоку.

Результати моделювання показали, що параметри якості обслуговування трафіку інтернету речей та інших сучасних додатків помітно відрізняються під час обслуговування сукупного потоку. При вивченні обслуговування агрегованого трафіку встановлено, що для нього ймовірність втрати пакета більша, ніж для трафіку інтернету речей. Крім того, ця різниця стає більш істотною при збільшенні інтенсивності навантаження, що надходить.

## Список використаної літератури:

1. 5G Networks / Barakabitze, Alcardo & Hines, Andrew // 2022.
2. IoT, IoE and Tactile Internet / Monnet, Wrya // 2021.
3. Adaptive 5G Low-Latency Communication for Tactile Internet Services / Sachs, Joachim & Andersson, Lars & Araujo, Jose & Curescu, Calin & Lundsjo, Johan & Rune, Goran & Steinbach, Eckehard & Wikstrom, Gustav // 2018.
4. Estimation of Quality of Service in Tactile Internet, Augmented Reality and Internet of Things / Alzahir, Abbas & Paramonov, Alexander & Koucheryav, Andrey // 2022.
5. A comprehensive survey: Benefits, Services, Recent works, Challenges, Security and Use cases for SDN-VANET / S. Al-Heety, Othman & Zakaria, Zahriladha & Ismail, Mahamod & Shakir, Mohammed & Alani, Sameer & Alsariera, Hussein // 2020.
6. M2M in 5G Cellular Networks / Ahuja, Kiran & Bala, Indu // 2023.
7. Edge caching and computing in 5G for mobile augmented reality and haptic internet / Cheng, Yuan // 2020.
8. HetNet/M2M/D2D communication in 5G technologies / Mishra, Ayaskanta & Swain, Anita & Ray, Arun & Shubair, Raed // 2022.



9. QoE preserving resource scheduling for M2M terminals and human users in LTE networks. / Abdalla, Isam & Venkatesan, S. // 2015.

10. Energy-Efficient Machine-to-Machine (M2M) Communications in Virtualized Cellular Networks with Mobile Edge Computing (MEC) / Li, Meng & Yu, Richard & Si, Pengbo & Zhang, Yanhua // 2018.

### References:

1. 5G Networks / Barakabitze, Alcardo & Hines, Andrew // 2022.

2. IoT, IoE and Tactile Internet / Monnet, Wrya // 2021.

3. Adaptive 5G Low-Latency Communication for Tactile Internet Services / Sachs, Joachim & Andersson, Lars & Araujo, Jose & Curescu, Calin & Lundsjo, Johan & Rune, Goran & Steinbach, Eckehard & Wikstrom, Gustav // 2018.

4. Estimation of Quality of Service in Tactile Internet, Augmented Reality and Internet of Things / Alzagher, Abbas & Paramonov, Alexander & Koucheryav, Andrey // 2022.

5. A comprehensive survey: Benefits, Services, Recent works, Challenges, Security and Use cases for SDN-VANET / S. Al-Heety, Othman & Zakaria, Zahriladha & Ismail, Mahamod & Shakir, Mohammed & Alani, Sameer & Alsariera, Hussein // 2020.

6. M2M in 5G Cellular Networks / Ahuja, Kiran & Bala, Indu // 2023.

7. Edge caching and computing in 5G for mobile augmented reality and haptic internet / Cheng, Yuan // 2020.

8. HetNet/M2M/D2D communication in 5G technologies / Mishra, Ayaskanta & Swain, Anita & Ray, Arun & Shubair, Raed // 2022.

9. QoE preserving resource scheduling for M2M terminals and human users in LTE networks. / Abdalla, Isam & Venkatesan, S. // 2015.

10. Energy-Efficient Machine-to-Machine (M2M) Communications in Virtualized Cellular Networks with Mobile Edge Computing (MEC) / Li, Meng & Yu, Richard & Si, Pengbo & Zhang, Yanhua // 2018.