

Н. Г. Кучук<sup>1</sup>, О. В. Шефер<sup>2</sup>, Г. П. Чернева<sup>3,4</sup>, Алнаєрі Фрхат Алі<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків, Україна

<sup>2</sup> Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава, Україна,

<sup>3</sup> Транспортний університет “Тодор Каблешков”, Софія, Болгарія

<sup>4</sup> Південно-Західний Університет, Благоевград, Болгарія

## ВИЗНАЧЕННЯ ПРОПУСКНИХ ЗДАТНОСТЕЙ САМОВІДНОВЛЮВАЛЬНОГО СЕГМЕНТА МЕРЕЖІ

**Анотація.** Запропоновано підхід до визначення пропускних здатностей самовідновлювального сегмента мережі передачі даних. **Предметом дослідження** є автономні сегменти телекомунікаційної мережі, які володіють властивістю самовідновлення. **Об’єктом дослідження** є процес передачі інформації між вузлами автономного сегмента. **Наукова новизна** полягає в удосконаленні методу визначення пропускних здатностей самовідновлювального сегмента телекомунікаційної мережі при обмежених мережних ресурсах шляхом застосування критерію забезпечення мінімального часу доставки інформації при заданій границі можливої ймовірності втрат. Були вирішені такі **завдання**: розроблена математична модель самовідновлювального сегмента телекомунікаційної мережі у вигляді системи масового обслуговування; запропонований спосіб розрахунку ступеню завантаженості каналу. **Висновок:** запропонований підхід надав можливість розрахувати пропускні спроможності каналів зв’язку самовідновлювального сегмента телекомунікаційної мережі і необхідний обсяг буферної пам’яті при відомій топології мережі і заданій матриці тяжіння, що забезпечують необхідні значення ймовірності відмови і гарантують мінімальний час доставки повідомлень.

**Ключові слова:** самовідновлення; телекомунікаційна мережа; пропускна здатність; сегмент мережі.

### Вступ

У міру того, як сучасні програмні системи і додатки набувають універсальності і функціональності, стає все більш необхідною можливість управляти несумісними ресурсами і обслуговувати різноманітні вимоги користувачів. Крім того, по мірі ускладнення систем виправлення системних збоїв і відновлення після шкідливих атак стають більш складними, трудомісткими, дорогими і схильними до помилок. Ці чинники активізували дослідження, що стосуються концепції систем самовідновлення.

Самовідновлювальні системи (СВС) характеризуються автоматичним виявленням збоїв системи і прийомами відновлення після таких ситуацій. Самовідновлення – це вбудований механізм, який підтримує систему в порядку. Система самовідновлення може активно відстежувати і виявляти потенційні відхилення від своїх стандартних параметрів, перевіряти їх з певним ступенем достовірності і відновлювати нормальні операції без втручання людини. У СВС обов’язковий механізм моніторингу та виявлення, який постійно контролює систему, щоб переконатися, що вона працює нормально, і повідомляє про будь-які відхилення від очікуваної поведінки. Такий механізм знає метрики ідеального або допустимого діапазону, які він відстежує. Він включає в себе моніторинг серверів, моніторинг мережі, моніторинг баз даних, моніторинг журналів і моніторинг продуктивності застосунків, а також інші інструменти. Також в СВС обов’язковий протокол відновлення, який вживає необхідних заходів для відновлення нормальної роботи системи без допомоги ззовні.

Забезпечуючи раннє виявлення і відновлення системи, системи самовідновлення можуть значно знизити середній час відновлення. Автоматизація більшості процесів моніторингу також може привести до значного скорочення витрат і зниження за-

тримки на обслуговування. На додаток до відсутніх переваг, впровадження систем самовідновлення може позитивно вплинути на багато нематеріальних аспектів, таких як задоволеність клієнтів і задоволеність співробітників. Скорочення часу простою системи означає, що підприємства можуть більше зосередитися на своєму реальному бізнесі, ніж на управлінні IT-завданнями, що підвищує узгодженість надання їх послуг.

Однак при всіх позитивних тенденціях СВС припускають надмірність Software and Hardware. Крім того, система моніторингу вимагає незначних, але постійних витрат обчислювального ресурсу. Це призводить до зниження показників QoS [1, 2]. Тому необхідні нові моделі і методи обробки даних, орієнтовані на специфіку СВС. Зокрема, одним із низки таких завдань є розробка методу визначення пропускних здатностей самовідновлювального сегмента мережі, який орієнтований на врахування специфічних властивостей самовідновлювальних систем.

**Аналіз літературних даних і постановка проблеми.** Використання точних методів розв’язання задачі визначення пропускних здатностей самовідновлювального сегмента мережі [3, 4] при існуючих можливостях ЕОМ обчислювальної техніки неможливо. Підходи до розрахунку пропускних здатностей, запропоновані у [5], припускають локальне масштабування мережних фрагментів як вертикальне, так і горизонтальне, але не орієнтовані на врахування властивості самовідновлення. Методика розрахунку, розглянута у [6], орієнтована на вузькоспеціалізовані мережі. Низку методів розрахунку, наведених у [7, 8], можна застосовувати лише при наявності у мережі фрактального або самоподібного трафіка. Для використання методики розрахунку, запропонованої у [9], необхідно наявність оперативних емпіричних даних, що не відповідає наведеній вище постановці завдання. Отже на сьогодні існуючі методики визна-

чення пропускних здатностей не орієнтовані на самовідновлювальні сегменти мережі

Отже, метою даного дослідження є розробка методу визначення пропускних здатностей самовідновлювального сегмента телекомунікаційної мережі при обмежених мережних ресурсах за критерієм забезпечення мінімального часу доставки інформації при заданій ймовірності втрач.

### Результати досліджень

Самовідновлювальний сегмент телекомунікаційної мережі моделюються у вигляді системи масового обслуговування (СМО) типу М/М/п з обмеженою чергою (п-канальна СМО з очікуванням), на яку надходить пуассонівський потік запитів з сумарною інтенсивністю  $\lambda$ , інтенсивністю обслуговування для кожного каналу  $\mu$  і числом місць у черзі, що дорівнює  $m$ . Черги пов'язані зі входом до кожного сегмента, яка утворена пучком із  $n$  каналів і колективно використовуваною пам'яттю в кожному напрямку, що містить  $m$  елементів пам'яті. Для кожної самовідновлювального сегмента телекомунікаційної мережі середня кількість зайнятих каналів визначається як

$$\bar{z} = \rho \left( 1 - \frac{\rho^{n+m}}{n^m n!} P_0 \right), \quad (1)$$

де  $\rho = \lambda/\mu$  – середня завантаженість каналів, а  $P_0$  – ймовірність того, що канали вільні і немає черги, котру можна розрахувати таким чином:

$$P_0 = \left[ \sum_{\alpha=0}^n \frac{\rho^\alpha}{\alpha!} + \frac{\rho^n}{n!} \sum_{\alpha=1}^m \left( \frac{\rho}{n} \right)^\alpha \right]^{-1} = \left[ \sum_{\alpha=0}^n \frac{(n\chi)^\alpha}{\alpha!} + \frac{(n\chi)^n}{n!} \sum_{\alpha=1}^m \chi^\alpha \right]^{-1}, \quad (2)$$

де  $\chi = \rho/n$  – ступінь завантаженості каналу.

Тоді середня кількість запитів, що знаходяться в черзі у самовідновлювальному сегменті телекомунікаційної мережі, може бути знайдено як

$$\bar{r} = \frac{(n\chi)^{n+1} P_0}{nn!} \sum_{\alpha=1}^m \alpha \chi^{\alpha-1}. \quad (3)$$

Підсумовуючи вирази (1) і (3), отримаємо середню кількість запитів у СМО:

$$\bar{W} = \bar{z} + \bar{r}. \quad (4)$$

Ймовірність відмови (зайнятості всіх каналів і місць в черзі) дорівнює:

$$P_{відм} = \frac{\rho^{n+m}}{n! \cdot n^m} \cdot P_0. \quad (5)$$

Зафіксуємо ймовірність відмови на деякому допустимому рівні:

$$P_{відм} \leq P_{відм}^{доп}, \quad (6)$$

тоді для граничного значення  $P_{відм}^{доп}$  з виразу (5) визначимо  $P_0$ :

$$P_0 = \frac{n! \cdot n^m}{(n \cdot \chi)^{n+m}} \cdot P_{відм}^{доп}. \quad (7)$$

Використовуючи (7) зробимо спрощення виразів (1) і (3):

$$\bar{r} = P_{відм}^{доп} \cdot \sum_{\alpha=1}^m \alpha \cdot \chi^{-(m-\alpha)}; \quad (8)$$

$$\bar{z} = n\chi \left( 1 - P_{відм}^{доп} \right). \quad (9)$$

Підставивши їх до виразу (1), отримаємо вираз для середньої кількості запитів у СМО:

$$\bar{W} = n\chi \left( 1 - P_{відм}^{доп} \right) + P_{відм}^{доп} \sum_{\alpha=1}^m \alpha \chi^{-(m-\alpha)}. \quad (10)$$

Співвідношення (10) справедливо для будь-якого сегмента ізотропної мережі, в якій  $\rho$  не залежить від напрямку передачі. Однак в анізотропних мережах незалежна змінна  $\chi$  і значення  $m, n, P_{відм}^{доп}$  залежать від напрямку передачі для кожного  $i$ -го самовідновлювального сегмента телекомунікаційної мережі таким чином, що

$$\bar{W}_i = n_i \chi_i \left( 1 - P_{відм}^{доп} \right) + P_{відм}^{доп} \sum_{\alpha=1}^{m_i} \alpha \cdot \chi_i^{-(m_i-\alpha)}, \quad i = \bar{1}, k. \quad (11)$$

Використовуючи формулу Літгла і клейнроківську апроксимацію, маємо

$$\gamma \bar{T}_{зад} = \sum_{i=1}^k \bar{W}_i. \quad (12)$$

Умова (12) з урахуванням (11) визначає середній час затримки пакетів у самовідновлювальному сегменту телекомунікаційної мережі:

$$\bar{T}_{зад} = (1/\gamma) \times \sum_{i=1}^k \left[ P_{відм}^{доп} \sum_{\alpha=1}^{m_i} \alpha \cdot \chi_i^{-(m_i-\alpha)} + n_i \cdot \chi_i \left( 1 - P_{відм}^{доп} \right) \right]. \quad (13)$$

Введення умови (6) дало можливість не тільки спростити функціонал оптимізації за рахунок виключення громіздкого виразу (2), а й ввести другий якісний показник - ймовірність відмови, допустиме значення якого може бути задано у вигляді вимоги користувачів мережі. При цьому функція (13) має екстремум (мінімум), пошук якого є задачею безумовної оптимізації.

Шляхом обчислення часткових похідних

$$\partial \bar{T}_{зад} / \partial \chi_i = 0 \quad (14)$$

отримуємо абсолютний екстремум, який в силу уні-modalності  $\bar{T}_{зад}$  є глобальним. При традиційному методі оптимізації необхідно ставити функцію вартості в якості обмеження, так як початкова функція не містить екстремуму, але є опуклою, і пошук екстремуму вирішується як задача умовної оптимізації, що

має деяку множину відносних екстремумів. Крім того, даний метод вільний від суб'єктивізму у виборі функції вартості, тому що застосування будь-якої її форми не може бути переконливо аргументовано для конкретних умов завдання.

В силу адитивності функції (13) після обчислення часткових похідних (14) отримуємо систему алгебраїчних рівнянь

$$\partial \bar{W}_i / \partial \chi_i = 0, \quad i = \overline{1, k}, \quad (15)$$

кожне з яких є функцією однієї незалежної змінної (властивість сепарабельності), тобто

$$\partial \bar{W}_i / \partial \chi_i = d \bar{W}_i / d \chi_i = 0. \quad (16)$$

Обчислення (16) з урахуванням (11) приводить до системи  $k$  рівнянь такого вигляду:

$$\sum_{\alpha=1}^{m_i-1} (m_i - \alpha) \alpha \chi_i^{-(m_i-\alpha+1)} = n_i \frac{1 - P_{i \text{ відм}}^{\text{доо}}}{P_{i \text{ відм}}^{\text{доо}}}, \quad i = \overline{1, k}, \quad (17)$$

що визначають значення  $\chi_i = \chi_i^{\text{onm}}$  функцій змінних  $m, n, P_{i \text{ відм}}^{\text{доо}}$ , які забезпечують мінімальний середній час доставлення пакета. Однак за умовами завдання прийнятними значеннями  $\chi_i^{\text{onm}}$  є ті, що розташовуються на поверхні, яка визначається виразами, отриманими з (5):

$$\frac{\frac{(n_i \chi_i)^{n_i+m_i}}{n_i! n_i^{m_i}}}{\sum_{\alpha=0}^{n_i} \frac{(n_i \chi_i)^\alpha}{\alpha!} + \frac{(n_i \chi_i)^{n_i}}{n_i!} \sum_{\alpha=1}^{m_i} \chi_i^\alpha} = P_{i \text{ відм}}^{\text{доо}}. \quad (18)$$

Перетворимо вираз (17) до такого вигляду:

$$\left[ 1 + \frac{1}{n_i} \sum_{\alpha=1}^{m_i-1} (m_i - \alpha) \alpha \chi_i^{-(m-\alpha+1)} \right]^{-1} = P_{i \text{ відм}}^{\text{доо}}. \quad (19)$$

З огляду на, що праві частини рівнянь (18) і (19) однакові і постійні, прийнятні оптимальні значення  ${}^{np} \chi_i^{\text{onm}}$  знайдемо з умови:

$$\frac{n_i!}{(n_i \chi_i)^n} \sum_{\alpha=0}^{n_i} \frac{(n_i \chi_i)^\alpha}{\alpha!} = \sum_{\alpha=1}^{m_i} \left[ \frac{\alpha(m_i - \alpha)}{n_i} - \chi_i \right] \chi_i^{\alpha-1}, \quad i = \overline{1, k}. \quad (20)$$

Аналіз виразу (20) показує, що прийнятні значення  ${}^{np} \chi_i^{\text{onm}}$  не залежить від необхідного значення ймовірності відмови  $P_{i \text{ відм}}^{\text{доо}}$  і є функціями дискретних значень кількості каналів ( $n_i$ ) і кількості місць у черзі ( $m_i$ ).

Кожне рівняння системи (29) є функцією однієї змінної  $\chi_i$  і дає можливість незалежно визначити прийнятне оптимальне значення ступеня завантаження каналу для кожного сегмента мережі. Однак

отримати точний аналітичний розв'язок (20) не представляється можливим, вважаючи на його трансцендентність, але його можна отримати програмно чисельним методом. Тоді досить вирішити одне з рівнянь (20) відносно

$$\begin{aligned} {}^{np} \chi_i^{\text{onm}} &= \frac{\lambda_i}{n_i \mu_i} = \frac{L \lambda_i}{n_i L \mu_i} = \frac{F_i}{V n_i}; \\ {}^{np} \chi^{\text{onm}} &= f(m_i, n_i), \end{aligned} \quad (21)$$

де  $F_i = L \lambda_i$  – сумарний потік на вході  $i$ -го сегмента;  $V_i = L \mu_i$  – пропускна здатність кожного з  $n$  каналів.

Решта значення можуть відрізнитися числом буферів  $m_i$  або каналів  $n_i$ . Оптимізація по  $\chi_i$  дозволяє варіювати величинами  $V_i$  і в залежності від класу трафіку  $F_i$  надавати на вимогу користувача будь-яку сукупність каналів зі змінною шириною бітових швидкостей передачі, формуючи кожен раз віртуальний канал зі змінною пропускною здатністю незалежно від необхідної  $P_0$ , при цьому час доставки інформації буде залишатися мінімальним.

Рішення рівняння (20) можна здійснити графічним методом (рис. 1), представивши його у вигляді

$$F(n, m, \chi) = \frac{n_i!}{(n_i \chi_i)^n} \sum_{\alpha=0}^{n_i} \frac{(n_i \chi_i)^\alpha}{\alpha!} - \quad (22)$$

$$\sum_{\alpha=1}^{m_i} \left[ \frac{\alpha(m_i - \alpha)}{n_i} - \chi_i \right] \chi_i^{\alpha-1} = 0, \quad i = \overline{1, k}.$$

Прийнятні оптимальні значення  ${}^{np} \chi_i^{\text{onm}}$  визначаються координатами точок перетину цих кривих з віссю  $\chi$ . Аналіз графіків показує, що існує три варіанти вирішення в залежності від співвідношення величин  $n$  і  $m$ .

Якщо функція  $F(n, m, \chi)$  не перетинає вісь  $\chi$ , то прийнятних екстремальних значень функції не існує (наприклад, при  $n = 2$  і  $m = 4$ ). Функція  $F(n, m, \chi)$  може бути дотичною до осі  $\chi$  і тоді точка дотику буде єдиним значенням.

У третьому випадку є дві точки перетину. Однак значення  $\chi > 1$  у другій точці призводять до швидкого зростання  $\bar{T}_{\text{зад}}$  і  $P_{i \text{ відм}}^{\text{доо}}$ . За фізичним змістом і умовами завдання прийнятними є значення меншого за величиною кореня.

Аналіз виразів (21) показує, що вони є незалежними. Вирази (21) визначають умову, за якої можна здійснити варіювання числом каналів і їх пропускною здатністю в залежності від класу трафіку, надаючи користувачу сукупність каналів із заданою шириною смуги пропускання в межах отриманого значення  ${}^{np} \chi_i^{\text{onm}}$ , залишаючи середній час затримки мінімальним незалежно від величини необхідного значення ймовірності втрати пакетів внаслідок відмов в обслуговуванні для мережі відомої топології.

Поєднання умов (14, 20, 21) графічно відображено на рис. 2, що побудований з використанням пакета Mathcad.

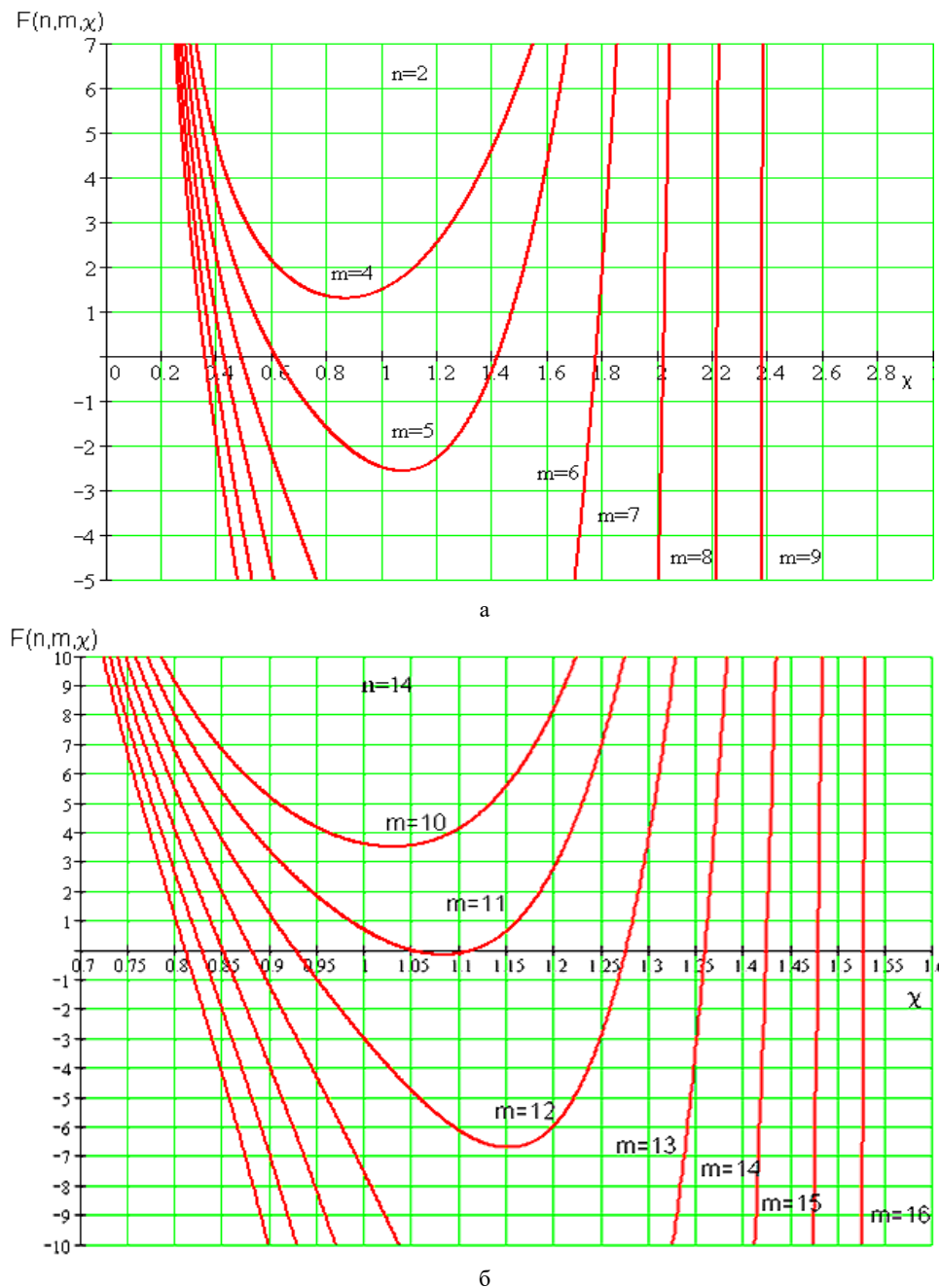


Рис. 1. Визначення  ${}^{np}\chi_i^{om}$  для самовідновлювального сегмента телекомунікаційної мережі:

(Fig. 1. Definitions  ${}^{np}\chi_i^{om}$  for the self-healing segment of telecommunication networks)

а –  $n=2, m=5-9$ ; б –  $n=14, m=12-16$

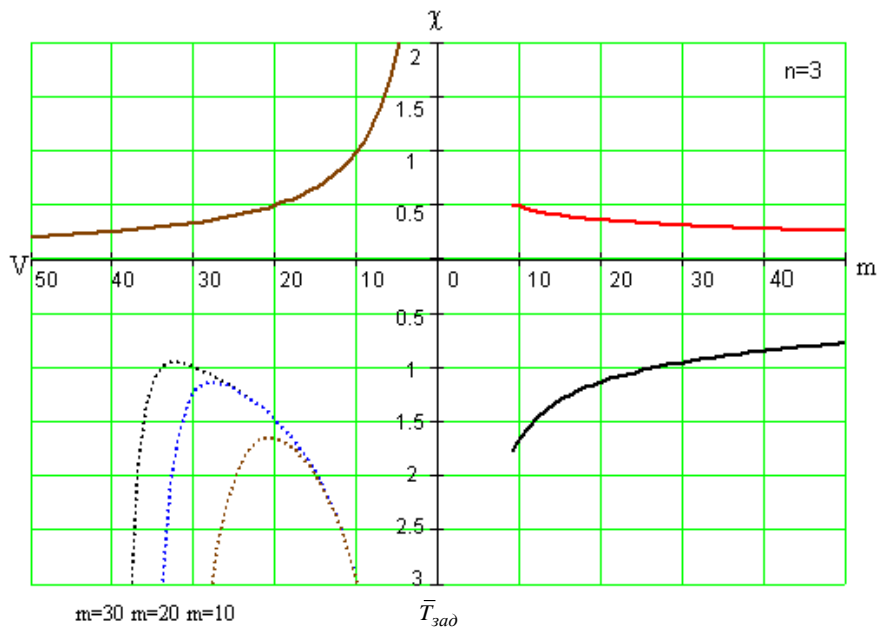
Рис. 2 дозволяє зробити висновок, що в межах встановлених значень параметрів часової прозорості самовідновлювального сегмента телекомунікаційної мережі, можна здійснити обмін пропускної здатності каналу на обсяг буферної пам'яті на вході в даний канал. Аналіз показує, що такий обмін може бути здійснений за умови підтримання сталості таких якісних показників мережі, як час затримки і ймовірність втрати пакетів.

### Висновок

Таким чином, отримані з графіків рис. 2 значення спільно з співвідношенням (21) дають можливість розрахувати пропускні спроможності каналів

зв'язку  $V_i$  самовідновлювального сегмента телекомунікаційної мережі і необхідний обсяг буферної пам'яті  $m_i$  при відомій топології мережі і заданій матриці тяжіння  $\|\lambda_{ij}\|$ , що забезпечують необхідні значення ймовірності відмови і гарантують мінімальний час доставки повідомлень.

Отже, розроблено метод визначення пропускних здатностей самовідновлювального сегмента телекомунікаційної мережі при обмежених мережних ресурсах за критерієм забезпечення мінімального часу доставки інформації при заданій ймовірності втрат.



**Рис. 2.** Суміщений графік залежностей  $\chi(m)$ ,  $\chi(V)$ ,  $\bar{T}_{3ad}(m)$ ,  $\bar{T}_{3ad}(V)$   
**(Fig. 2.** Combined graph  $\chi(m)$ ,  $\chi(V)$ ,  $\bar{T}_{3ad}(m)$ ,  $\bar{T}_{3ad}(V)$  )

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Shefer O.V., Alnaeri Frhat Ali. Optimum flow distribution in the network with adaptive data transfer. *Electronics and Control Systems*. 2020. No. 4(66). P.45-50. DOI: <https://doi.org/10.18372/1990-5548.66.15254>
2. Fang Shuguang, Dong Yuning, Shi Haixian. Approximate Modeling of Wireless Channel Based on Service Process Burstiness. *Proceedings of the International Conference on Wireless Networks (ICWN)*; Athens: 1-7. Athens: The Steering Committee of The World Congress in Computer Science, Computer Engineering and Applied Computing, (WorldComp).
3. Sobieraj M., Stasiak M., Weissenberg J. Analytical model of the single threshold mechanism with hysteresis for multi-service networks. *IEICE Transactions on Communications*. 2012. Vol. E95.B, No. 1. P. 120–132.
4. Kuchuk G., Kovalenko A., Komari I.E., Svyrydov A., Kharchenko V. Improving Big Data Centers Energy Efficiency: Traffic Based Model and Method / Kharchenko V., Kondratenko Y., Kacprzyk J. (eds) *Green IT Engineering: Social, Business and Industrial Applications. Studies in Systems, Decision and Control*. Vol 171. Cham: Springer, 2019. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-00253-4\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-030-00253-4_8)
5. Kurose J., Ross, K. *Computer networking: a top-down approach*, 7th ed. Harlow: Pearson, 2017. 864 p.
6. Ruban I.V., Martovytskyi V.O., Kovalenko A.A., Lukova-Chuiko N.V. Identification in Informative Systems on the Basis of Users' Behaviour. *Proceedings of the International Conference on Advanced Optoelectronics and Lasers, CAOL 2019-September*, 9019446. 2019. P. 574-577. DOI: <https://doi.org/10.1109/CAOL46282.2019.9019446>
7. Chen Y.G., Feng J. Fractal-based exponential distribution of urban density and self-affine fractal forms of cities. *Chaos, Solitons & Fractals*. 2012. 45(11). P. 1404-1416.
8. Kuchuk N., Mozhaiev O., Mozhaiev M., Kuchuk H. Method for calculating of R-learning traffic peakedness. *2017 4th International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2017 – Proceedings*. 2017. P. 359-362. DOI: <https://doi.org/10.1109/INFOCOMMST.2017.8246416>
9. Vapnik V. (), *Estimation of Dependences based on Empirical Data*, N.-Y., Berlin : Springer-Verlag, 1987. 326 p.

## REFERENCES

1. Shefer, O.V. and Alnaeri, Frhat Ali (2020), "Optimum flow distribution in the network with adaptive data transfer", *Electronics and Control Systems*, No. 4(66), pp.45-50, DOI: <https://doi.org/10.18372/1990-5548.66.15254>.
2. Fang, Shuguang, Dong, Yuning and Shi, Haixian (2012), "Approximate Modeling of Wireless Channel Based on Service Process Burstiness", *Proceedings of the International Conference on Wireless Networks (ICWN)*; Athens: 1-7. Athens: The Steering Committee of The World Congress in Computer Science, Computer Engineering and Applied Computing, (WorldComp).
3. Sobieraj, M., Stasiak, M. and Weissenberg, J. (2012), "Analytical model of the single threshold mechanism with hysteresis for multi-service networks", *IEICE Transactions on Communications*, Vol. E95.B No. 1, pp. 120–132.
4. Kuchuk, G., Kovalenko, A., Komari, I.E., Svyrydov, A. and Kharchenko, V. (2019), "Improving Big Data Centers Energy Efficiency: Traffic Based Model and Method", In: Kharchenko V., Kondratenko Y., Kacprzyk J. (eds) *Green IT Engineering: Social, Business and Industrial Applications. Studies in Systems, Decision and Control*, vol 171. Springer, Cham, DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-00253-4\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-030-00253-4_8).
5. Kurose, J. and Ross, K. (2017), *Computer networking: a top-down approach*, 7th ed., Harlow: Pearson, 864 p.
6. Ruban, I.V., Martovytskyi, V.O., Kovalenko, A.A. and Lukova-Chuiko, N.V. (2019), "Identification in Informative Systems on the Basis of Users' Behaviour", *Proceedings of the International Conference on Advanced Optoelectronics and Lasers, CAOL 2019-September*, 9019446, pp. 574-577, DOI: <https://doi.org/10.1109/CAOL46282.2019.9019446>.

7. Chen, Y.G. and Feng, J. (2012). "Fractal-based exponential distribution of urban density and self-affine fractal forms of cities", *Chaos, Solitons & Fractals*, 45(11): 1404-1416.
8. Kuchuk, N., Mozhaiev, O., Mozhaiev, M. and Kuchuk, H. (2017), "Method for calculating of R-learning traffic peakedness", *2017 4th International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2017 – Proceedings*, pp. 359-362, DOI: <https://doi.org/10.1109/INFOCOMMST.2017.8246416>.
9. Vapnik, V. (1987), *Estimation of Dependences based on Empirical Data*, Springer-Verlag, N.-Y., Berlin, 326 p.

Надійшла (received) 26.02.2021

Прийнята до друку (accepted for publication) 28.04.2021

#### ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

- Кучук Ніна Георгіївна** – доктор технічних наук, доцент, доцент кафедри обчислювальної техніки та програмування, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна;  
**Nina Kuchuk** – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Computer Science and Programming Department, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine;  
 e-mail: [nina\\_kuchuk@ukr.net](mailto:nina_kuchuk@ukr.net); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-0784-1465>.
- Шефер Олександр Віталійович** – доктор технічних наук, доцент, завідувач кафедри автоматизації, електроніки та телекомунікацій, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава, Україна;  
**Oleksandr Shefer** – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Automation, Electronics and Telecommunications, National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Poltava, Ukraine;  
 e-mail: [avs075@ukr.net](mailto:avs075@ukr.net); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-3415-349X>.
- Чернева Галіна Петкова** – доктор наук (комунікаційні технології), професор, Транспортний університет "Тодор Каблешков", Софія, Південно-Західний Університет, Благоевград, Болгарія;  
**Galina Cherneva** – Doctor of Sciences, (Communication Technology), Professor, "Todor Kableshkov" University of Transport, Sofia, South West University, Blagoevgrad, Bulgaria;  
 e-mail: [cherneva@vtu.bg](mailto:cherneva@vtu.bg), [gcherneva@swu.bg](mailto:gcherneva@swu.bg); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-7441-0270>.
- Алнаєрі Фрхат Алі** – аспірант кафедри автоматизації, електроніки та телекомунікацій, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава, Україна;  
**Alnaeri Frhat Ali** – Postgraduate student of the Department of Automation, Electronics and Telecommunications, National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Poltava, Ukraine;  
 e-mail: [farhat.anaeri@gmail.com](mailto:farhat.anaeri@gmail.com); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-1807-7893>.

#### Определение пропускных способностей самовосстанавливающегося сегмента сети

Н. Г. Кучук, А. В. Шефер, Г. П. Чернева, Алнаєрі Фрхат Алі

**Аннотация.** Предложен подход к определению пропускных способностей самовосстанавливающегося сегмента сети передачи данных. **Предметом исследования** являются автономные сегменты телекоммуникационной сети, которые обладают свойством самовосстановления. **Объектом исследования** является процесс передачи информации между узлами автономного сегмента. **Научная новизна** заключается в усовершенствовании метода определения пропускных способностей самовосстанавливающегося сегмента телекоммуникационной сети при ограниченных сетевых ресурсах путем применения критерия обеспечения минимального времени доставки информации при заданной границе возможной вероятности потерь. Были решены следующие **задачи**: разработана математическая модель самовосстанавливающегося сегмента телекоммуникационной сети в виде системы массового обслуживания; предложен способ расчета степени загруженности канала. **Вывод:** предложенный подход дал возможность рассчитать пропускные способности каналов связи самовосстанавливающегося сегмента телекоммуникационной сети и необходимый объем буферной памяти при известной топологии сети и заданной матрицы тяготений, которые при этом обеспечивают требуемые значения вероятности отказа и гарантируют минимальное время доставки сообщений.

**Ключевые слова:** самовосстановление; телекоммуникационная сеть; пропускная способность; сегмент сети.

#### Determining the capacity of the self-healing network segment

Nina Kuchuk, Oleksandr Shefer, Galina Cherneva, Alnaeri Frhat Ali

**Abstract.** An approach to determining the bandwidth of the self-healing segment of the data network is proposed. The subject of the study are autonomous segments of the telecommunications network, which have the property of self-healing. The object of research is the process of information transfer between nodes of an autonomous segment. The scientific novelty is to improve the method of determining the capacity of the self-healing segment of the telecommunications network with limited network resources by applying the criterion of ensuring the minimum time of information delivery at a given limit of possible probability of loss. The following tasks were solved: a mathematical model of the self-healing segment of the telecommunication network in the form of a queuing system was developed; the proposed method of calculating the degree of channel congestion. Conclusion: the proposed approach made it possible to calculate the bandwidth of the communication channels of the self-healing segment of the telecommunications network and the required amount of buffer memory with a known network topology and a given gravity matrix, providing the required values of failure probability and guarantee minimum message delivery time.

**Keywords:** self-healing; telecommunication network; bandwidth; network segment.