



УДК 004.7:519.87(043.3):621.391  
DOI 10.17721/ISTS.2023.1.70-77

Олександр Торошанко, orcid.org/0000-0002-2354-0187,  
toroshanko@gmail.com

Юрій Щєбланін, orcid.org/0000-0002-3231-6750,  
y.shcheblanin@gmail.com

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

# ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ СХЕМ ВІЯВЛЕННЯ ПЕРЕВАНТАЖЕННЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ

*Розглянуто схему виявлення перевантажень і регулювання вхідного потоку даних на основі аналізу функції чутливості продуктивності телекомунікаційної мережі. Градієнт функції чутливості характеризує швидкість зміни цієї функції і надає оптимальний напрямок для налаштування швидкості джерела даних. Для визначення функції чутливості запропоновано використання простої нейронної мережної моделі динамічної системи. Визначення градієнта за поточним значенням знаку функції чутливості показника продуктивності здійснюють на основі алгоритму адитивного збільшення/множинного зменшення. Указаний алгоритм є альтернативою системи прогнозування перевантаження і керування потоком, заснованої на контролі поточного значення величини черги порівняно із заданим порогом. Розглянуто нейронну модель для багатокрокового передбачення стану черги з боку приймача телекомунікаційної мережі. Запропоновано й обґрунтовано схему багатокрокового передбачення стану черги. Для передбачення та завчасного виявлення перевантаження використано апарат загальної теорії чутливості з непрямим зворотним зв'язком та керуванням активністю джерел повідомлень. Результати цієї теорії застосовано для побудови системи керування з непрямим зворотним зв'язком, що дозволяє економити каналний та обчислювальний ресурси. Представлено результати порівняльного аналізу способів контролю перевантаження на підставі аналізу довжини черги і на основі аналізу показника чутливості з 1-кроковим та 3-кроковим горизонтами передбачення стану мережі. Дослідження проведено для синусоїдальної функції вузького місця черги. Показано, що ключові показники ефективності для схеми на основі функції чутливості кращі, ніж для схеми на основі аналізу довжини черги. Схема на основі аналізу розміру черги чутливіша до змін у швидкості обслуговування черги, а коливання швидкості джерела даних менші для схеми на основі чутливості. Для систем на основі аналізу функції чутливості схема з 3-кроковим горизонтом передбачення стану забезпечує кращу продуктивність і меншу величину черги на обслуговування ніж схема з 1-кроковим горизонтом.*

**Ключові слова:** телекомунікаційна мережа; прогнозування перевантаження; функція чутливості; градієнт; нейронна система; керування чергою; горизонт передбачення.

## 1. ВСТУП

Ключові показники ефективності функціонування телекомунікаційної мережі значною мірою визначаються способами й алгоритмами керування потоками даних і маршрутизації. Саме ці два напрямки пов'язані з розв'язанням ключової задачі інформаційного обміну – прогнозування і запобігання перевантаженням.

Головна вимога до використовуваних методів маршрутизації – статичних чи динамічних, локальних чи децентралізованих тощо – це спрямувати повідомлення від джерела до місця призначення таким чином, щоб затримка даних у

мережі була мінімальною, а керування трафіком даних мало б забезпечити уникнення чи мінімізацію появи перевантаження [1–3].

Телекомунікаційна мережа представляє собою сукупність ресурсів, що використовуються конкуруючими користувачами. Ресурси телекомунікаційної мережі (буферна пам'ять, смуга пропускання, процесорний час, простір імен, логічні канали) мають обмежені (скінченні) можливості, які спричиняють виникнення конфліктів між користувачами. Це може призвести до суттєвого зниження продуктивності системи до такого моменту, що система стає "засміченою" внаслідок

© Торошанко О., Щєбланін Ю., 2023



багатократного дублювання даних і різкого збільшення технологічної керівної інформації. Унаслідок цього пропускна здатність суттєво зменшується, можливо і до нульової позначки. Це є типова поведінка "конкуруючих" систем [3–6]. Така ситуація може призвести до колапсу мережі.

Існує декілька визначень перевантаження, які, однак, не суперечать одне одному. Будемо користуватись таким визначенням [7–9]: "перевантаження – це втрата даних користувачем, спричинена збільшенням навантаження в мережі". Тоді керування перевантаженням можна визначити як набір механізмів, що запобігають таким негативним для користувача наслідкам або зменшують їх. Якщо мережа не здатна запобігти втраті даних користувача, тоді потрібно спробувати максимально обмежити втрати, і в подальшому спробувати, щоб система була справедливою до всіх постраждалих користувачів.

Перевантаження має значний вплив на ключові показники ефективності телекомунікаційної мережі і якість обслуговування користувачів. Сказане вище обумовлює актуальність і необхідність проведення досліджень у цьому напрямку.

## 2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Одним із способів запобігання перевантаженню є збільшення об'єму пам'яті вхідних буферів [4]. Однак зі зростанням об'єму буферної пам'яті (розбухання буфера – Bufferbloat) збільшується кількість необроблених пакетів, а головне – збільшується час очікування їхнього оброблення. Це може привести до перевищення допустимих норм тривалості тайм-ауту, що призводить до подальшого зниження корисної пропускної здатності мережі і може спричинити виникнення лавинного процесу: переповнення буфера призводить до втрати пакетів, які доведеться передавати повторно або навіть кілька разів. Таким чином, обчислювальний вузол маршрутизатора-відправника отримує надлишкове паразитне завантаження, що може призвести до збільшення негативних наслідків, пов'язаних із перевантаженням.

У роботах [10–12] запропоновано розгорнуту класифікацію способів і алгоритмів боротьби з перевантаженнями, які використовують нині, розглянуто алгоритми RED, TCP Veno, Tail Drop, WRED (weighted random early detection) тощо. Однак згадані роботи [10–12] носять, певною мірою, оглядовий характер, не приводяться кількісні порівняльні оцінки ефективності і складності розглянутих методів, зокрема. Причиною цього, очевидно, є неможливість детального аналізу внаслідок відсутності статистики достатньо великого об'єму.

Важливу роль у системах керування потоками даних і прогнозуванні перевантаження відіграють показники чутливості складних систем. У фундаментальній роботі [13] визначено категорію чутливості складної системи як математичного показника та запропоновано логарифмічні функції чутливості.

У [14] розглянуто способи і методи визначення чутливості вихідних характеристик телекомунікаційних мереж як систем масового обслуговування. В основу цих способів покладено моделі керування чергою для адаптації регульованого доступу зовнішнього трафіка в систему з метою отримання очікуваної межі продуктивності.

Однак асимптотичні характеристики функцій чутливості в роботі остаточно не визначено, не отримано аналітичні вирази для функціонального зв'язку параметрів функцій чутливості та відповідних параметрів системи керування чергами.

**Метою цього дослідження** є вдосконалення і розроблення способу контролю і прогнозування перевантаження в телекомунікаційній мережі з використанням явного зворотного зв'язку за знаком функції чутливості продуктивності мережі, а також виконання порівняльного аналізу відомих і запропонованих рішень.

## 3. КОНТРОЛЬ ПЕРЕВАНТАЖЕННЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ФУНКЦІЇ ЧУТЛИВОСТІ

У [15] розглянуто схему контролю перевантажень із використанням зворотного зв'язку за знаком функції чутливості продуктивності телекомунікаційної мережі. Для визначення цієї функції запропоновано використання простої нейронної мережної моделі динамічної системи. Запропонований алгоритм адитивного збільшення/множинного зменшення визначає зміну швидкості джерела даних залежно від знаку функції чутливості показника продуктивності. Указаний алгоритм є альтернативою системи прогнозування перевантаження і керування потоком, заснованої на пороговому заповненні черги, тобто контролю перевантаження за показником довжини черги.

Алгоритм і правило регулювання адитивного збільшення/множинного зменшення швидкості джерела визначає аналітичний вираз вигляду

$$\Delta J(t) = \frac{\partial J}{\partial R(t)} = -E(t + i\tau) \frac{\partial \hat{G}(t + i\tau)}{\partial R(t)}, \quad (1)$$

$$i = 1, 2, \dots, L.$$

Тут  $J(t)$  – оціночні дані про наявність чи загрозу перевантаження;  $\Delta J(t)$  – градієнт системи оці-

нювання перевантаження в момент часу  $t$ ;  $G(t)$  – довжина черги або затримки обслуговування в момент часу  $t$ ;  $\hat{G}(t+i\tau)$  – прогнозована довжина черги або затримки обслуговування в момент часу  $t+i\tau$ , вихід нейронної мережі;  $R(t)$  – миттєва швидкість черги на вході в момент часу  $t$ ;  $E(t)$  – функція відхилення параметра, що відслідковується (помилка);  $\tau$  – період часових відліків, період тактової частоти системи;  $L$  – горизонт передбачення.

Зауважимо, що похідна  $\partial \hat{G}(t+i\tau)/\partial R(t)$  у нашому випадку представляє собою параметр чутливості мережі – градієнт показника ефективності системи [7].

На основі виразу (1) визначається параметр  $R_{qs}$  – швидкість обслуговування черги (queue service).

Визначимо функцію вартості (cost function), як цільову функцію наявності перевантаження, таким чином:

$$J = \frac{1}{2} e^2(t+i\tau) = \frac{1}{2} [Q - \hat{G}(t+i\tau)]^2, \quad i=1,2,\dots,L. \quad (2)$$

Тут  $Q$  – заздалегідь установлена характеристика системи, у нашому випадку максимально допустиме значення довжини черги.

Керівний сигнал в (1) для  $R(t)$  (швидкість джерела даних) повинен бути обраний так, щоб

мінімізувати  $J$ . У дискретному випадку керівна змінна оновлюється відповідно до такого правила градієнтного спуску [16]:

$$R(t+\tau) = R(t) + \Delta R(t) = R(t) - \eta \frac{\partial J}{\partial R(t)}. \quad (3)$$

Індикатор перевантаження  $B(t)$  формується залежно від градієнта системи  $\Delta J(t)$  у момент часу  $t$  [15]:

$$\begin{cases} B(t) = 0 & \text{if } \Delta J(n) < 0, \\ B(t) = 1 & \text{if } \Delta J(n) \geq 0. \end{cases} \quad (4)$$

На рис. 1 показано схему регулювання вхідного потоку (РВП) від джерел даних  $D_1 \dots D_s$  на основі аналізу показника чутливості [15]. Однак вона не дає повного уявлення щодо гарантованого прогнозування перевантаження на основі аналізу показника чутливості.

Необхідно пояснити, у чому полягає різниця між задачами запобігання перевантаженню і керування потоком. Запобігання перевантаженню гарантує, що мережа справиться із запропонованим їй трафіком. Для розв'язання цього питання необхідно аналізувати поведінку всіх хостів і маршрутизаторів, процесів зберігання і пересилання даних, а також урахувати багато інших чинників, що знижують пропускну спроможність мережі [17, 18].

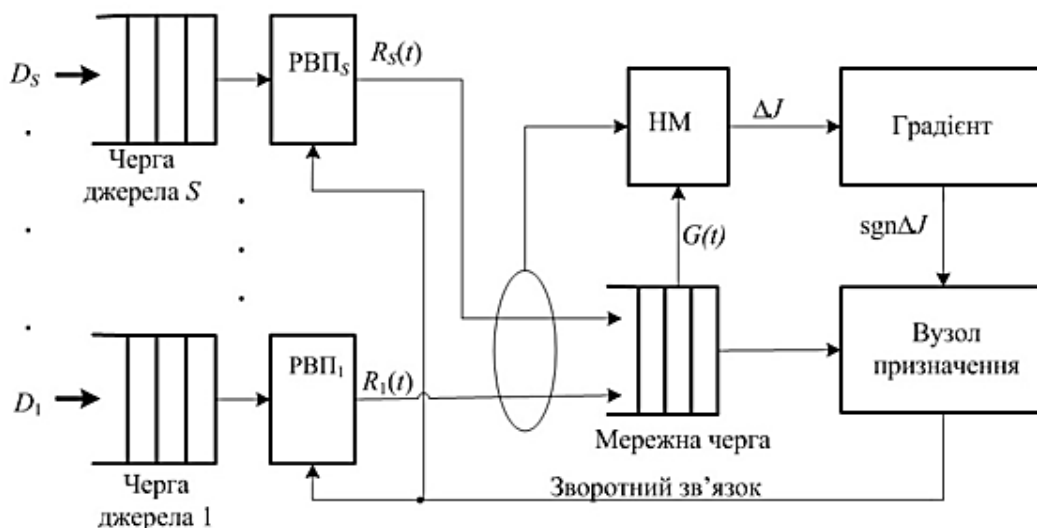


Рис. 1. Схема регулювання вхідного потоку даних

Керування потоком, навпаки, належить до трафіка між двома конкретними станціями – відправником і отримувачем. Завдання керування потоком полягає в узгодженні швидкості передачі відправника зі швидкістю, з якою отримувач здатний приймати потік пакетів.

Керування потоком зазвичай реалізується за допомогою зворотного зв'язку між отримувачем і відправником.

Слід зауважити, що алгоритми боротьби з перевантаженням також використовують зворотний зв'язок у вигляді спеціальних повідомлень



щодо уповільнення темпу передачі даних різними відправниками. Таким чином, хост може отримати повідомлення щодо уповільнення передачі у двох випадках: коли з потоком, що передається, не справляється отримувач, або, коли з ним не справляється вся мережа.

На рис. 2 зображено схему виявлення перевантаження зі зворотним зв'язком по параметру  $G(t)$  – довжина черги або затримки обслуговування.

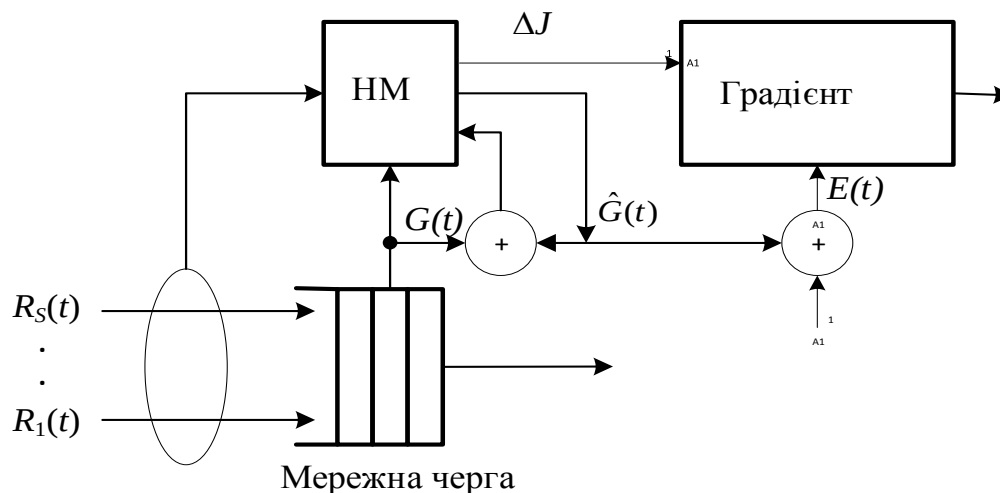


Рис. 2. Схема виявлення перевантаження зі зворотним зв'язком

Значення величин  $R_1(t) \dots R_S(t)$  (швидкості регульованих вхідних потоків від джерел даних  $D_1 \dots D_S$ ) поступають на вхідний шар нейронної мережі НМ. На основі аналізу отриманих даних і поточного значення довжини мережної черги  $G(t)$  вихідний шар нейронної мережі відслідковує величину функції  $J$  (наявності чи загрози перевантаження) та її відхилення. Знак величини відхилення  $\text{sgn} \Delta J$  враховується вузлом призначення під час формування сигналу зворотного зв'язку.

#### 4. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ СХЕМ ВИЯВЛЕННЯ ПЕРЕВАНТАЖЕННЯ

Параметри і показники функціонування телекомунікаційної мережі можуть змінюватися із часом, тому в керівній схемі необхідне онлайн навчання нейронної мережі [20].

Алгоритм навчання нейронної мережі і формування ознаки перевантаження детально розглянуто в [15].

Розглянемо одне з'єднання з таким набором параметрів:

- пікова швидкість джерела  $R_{\max} = 100$  пакетів за одиницю часу;

Зазначимо, що обчислений нейронною мережею прогнозований параметр  $\hat{G}(t)$ , у точках формування відхилень враховується з різними знаками.

Аналітичне представлення алгоритму керування адитивним збільшенням/множинним зменшенням швидкості джерела полягає в такому [19]:

$$R(t + \tau) = \begin{cases} R(t) + F, & \Delta J(n - \tau) < 0, \\ R(t) - F, & \Delta J(n - \tau) \geq 0. \end{cases} \quad (5)$$

- мінімальна швидкість  $R_{\min} = 0$  пакетів за одиницю часу;
- одиниця часу  $\tau = 0,25$  мс;
- поріг перевантаження встановлений при  $Q = 500$  пакетів;
- коефіцієнт адитивного збільшення  $F^+ = R_{\max}/16$ ;
- коефіцієнт мультиплікативного зменшення  $F^- = 15/16$ ;
- затримка округлення із 6 одиниць часу – 6т.

Розглядається тришарова нейронна мережа: вхідний, вихідний і прихований шари складаються з 8 нейронних елементів кожен.

Для визначення стану вузького місця черги (bottleneck queue) досліджують 1- і 3-крокові горизонти передбачення. Числові значення вузького місця визначено синусоїдальною функцією  $\text{integer}[35(1 + \sin(2\pi/T)) + 10]$  пакетів за одиницю часу (integer – ціла частина числа).

Представимо результати порівняльного аналізу таких способів контролю перевантаження:

- а) на основі аналізу довжини черги (рис. 3);
- б) на основі аналізу показника чутливості з 1-кроковим передбаченням стану мережі (рис. 4);
- в) на основі аналізу показника чутливості з 3-кроковим передбаченням стану мережі (рис. 5).





Спосіб а) реалізується на основі схеми, показаної в [1] на рис. 1. Способи б) і в) реалізуються на основі схем, зображених на рис. 1 і 2 цієї статті.

На графіках прийнято такі позначення:

пунктирна лінія – реальні значення параметрів, суцільна – прогнозовані;

$G$  – розмір черги (кількість запитів);

$R_{qs}$  – швидкість обслуговування черги (*queue service*), запитів/с;

$R_{ds}$  – швидкість джерела даних (*data source*), запитів/с.

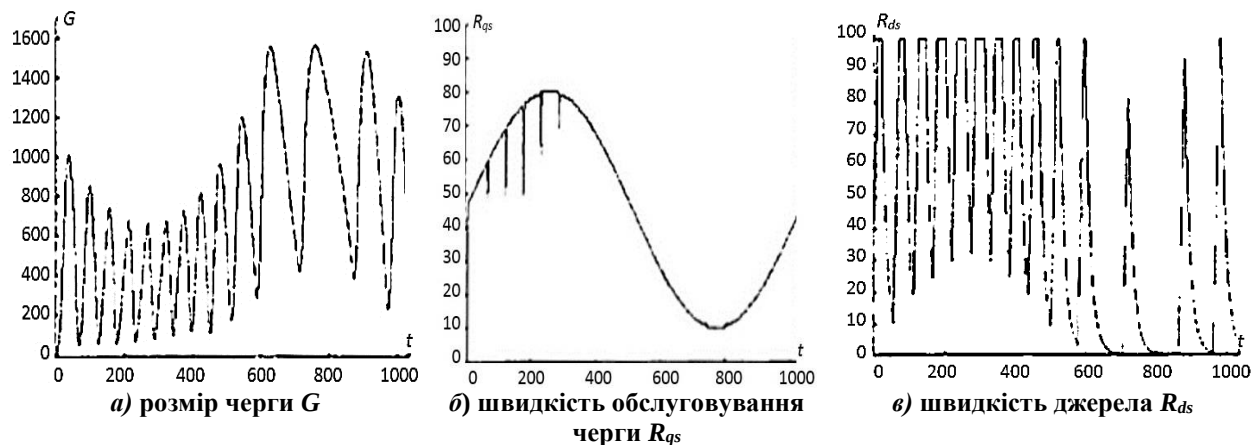


Рис. 3. Контроль перевантаження на основі аналізу довжини черги

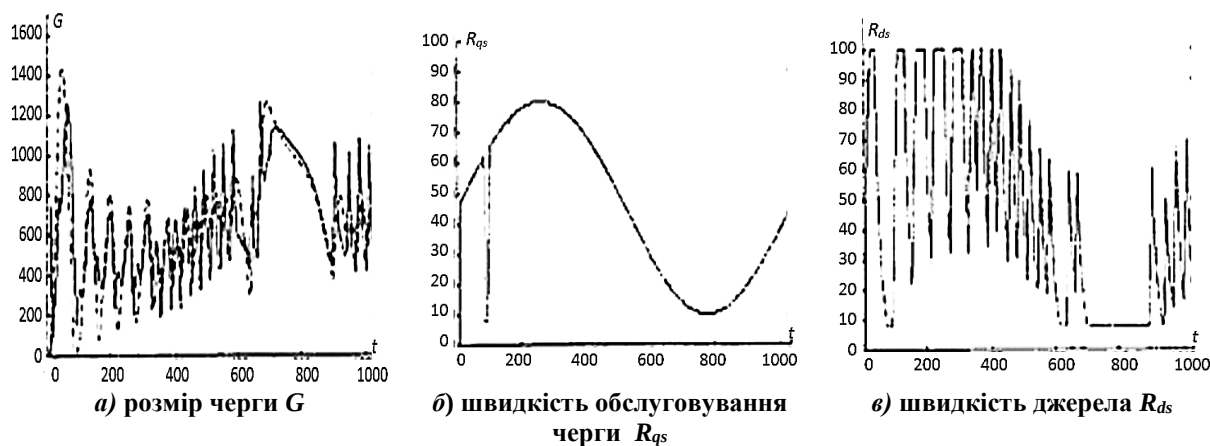


Рис. 4. Контроль перевантаження на основі схеми чутливості з 1-кроковим передбаченням

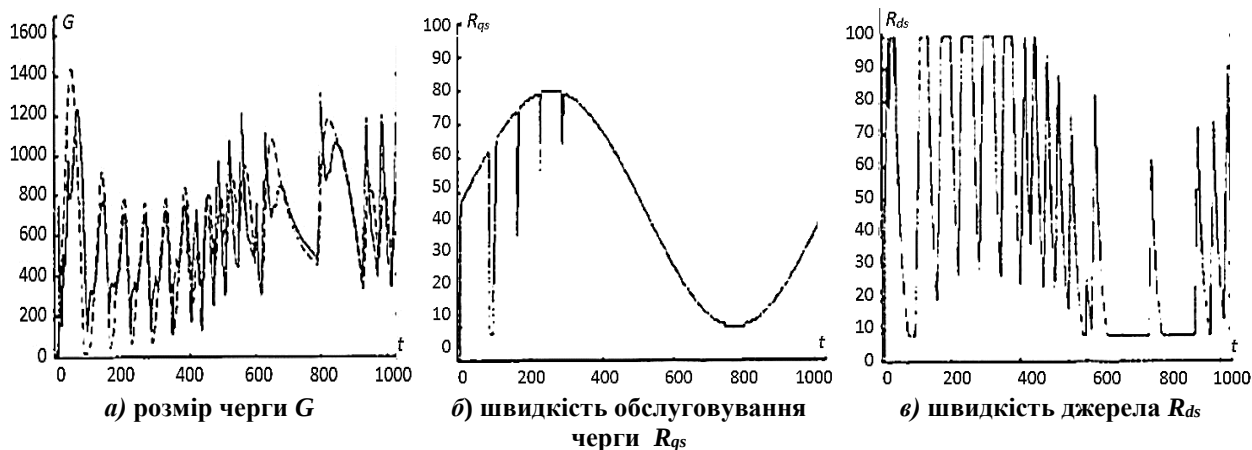


Рис. 5. Контроль перевантаження на основі схеми чутливості з 3-кроковим передбаченням



Визначимо такі показники ефективності для виконання моделювання:

$$G_{\max} = \max\{G(t), 0 \leq t \leq T\},$$

тут максимальне значення  $G(t)$  відображає розмір буфера, потрібний вузькому місцю для уникнення втрати пакету,  $T$  – час виконання моделювання;

• середній розмір черги і швидкості джерела, визначено як

$$\tilde{f} = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt;$$

• дисперсію розміру черги і швидкості джерела, визначено як

$$\sigma^2(f) = \frac{1}{T} \int_0^T [f(t) - \tilde{f}]^2 dt.$$

Аналіз зображених графіків свідчить про таке:

1) величини черги  $G$  менші для схеми на основі чутливості (рис. 4,а і 5,а) ніж для схеми на основі черги (рис. 3,а). Разом із тим схема на основі чутливості з 3-кроковим передбаченням стану (рис. 5) забезпечує кращу продуктивність, тобто меншу величину черги на обслуговування, ніж відповідна схема з 1-кроковим передбаченням (рис. 4);

2) Схема на основі аналізу розміру черги чутливіша до змін у швидкості обслуговування черги (рис. 3,б), ніж схеми на основі чутливості (рис. 4,б і 5,б). У схемі на основі черги слід зазначити, що за значного зниження швидкості обслуговування розмір черги зростає екстенсивно, раніше спостережуваних значень. Збільшення розміру черги стабільніше за тих самих умов для схем на основі чутливості;

3) коливання швидкості джерела  $R_d$  менші для схеми на основі чутливості (рис. 4,в і 5,в) ніж для схеми на основі черги (рис. 3,в). Аналізуючи схеми на основі чутливості, зауважимо, що для 3-крокового передбачення керівні сигнали зворотного зв'язку (тобто, двійковий біт затору), отримані у джерелі даних з мережної черги, несуттєві у віці й відображають ближчі мережні умови порівняно з 1-кроковим передбаченням процесу. У схемах керування затором на основі зворотного зв'язку зі значними затримками поширення керівні сигнали, отримані у джерелах, можуть бути застарілими, і в результаті відповідь керування вступить у силу тільки після деякої затримки. Недоліком передбачення на основі аналізу стану черги є те, що чим із більшою затримкою ми робитимемо передбачення, тим складніше буде отримати передбачення з невеликими помилками.

Короткий перелік результатів моделювання для синусоїдального типу вузького місця наведено в таблиці, де  $G_{av}$  і  $R_{av}$  позначають середній за часом розмір черги і швидкість джерела.

**Таблиця**  
**Перелік результатів моделювання**

| Підхід                                                         | $G_{\max}$ | $G_{av}$ | $\sigma^2(G)$ | Інд. $G_{\max}$ | $R_{av}$ | $\sigma^2(R)$ |
|----------------------------------------------------------------|------------|----------|---------------|-----------------|----------|---------------|
| На основі аналізу черги                                        | 1556       | 713,8    | 179305,5      | 281             | 45,7     | 1211,4        |
| На основі функції чутливості: 1-кроковий горизонт передбачення | 1428       | 653,3    | 86115,5       | 48              | 44,4     | 1066,9        |
| На основі функції чутливості: 3-кроковий горизонт передбачення | 1443       | 628,7    | 89936,5       | 49              | 44,5     | 1139,7        |

У цій роботі, на відміну від традиційних систем контролю перевантаження за змінами стану та параметрів черг, запропонована система працює за оптимальними алгоритмами налаштування вагових параметрів. Завдяки цьому підвищується точність визначення керівних сигналів, зменшується вплив їхньої затримки і, як результат, мінімізуються середні витрати ресурсу.

Розглянута система керування телекомунікаційною мережею по суті представляє собою статичну нейронну мережу, до складу якої вводиться зворотний зв'язок через елемент затримки на один такт [19, 20]. Це припущення для пакетних телекомунікаційних мереж є вельми логічним.

## 6. ВИСНОВКИ

Проведені дослідження показують, що підхід на основі чутливості здатний зменшити величину коливань черги (як показує значення дисперсії в таблиці), але не може повністю усунути коливання. Використання чутливості функції продуктивності системи дозволяє виявити затор своєчасно, і це веде до своєчасної реакції керування зворотним зв'язком із джерелами даних. Використання нейронної архітектури для реалізації функції чутливості і градієнта цільової функції під час збільшення горизонту передбачення забезпечують прийнятні значення затримки повідомлень зворотного зв'язку і тим самим



покращують точність передбачення і виявлення перевантажень у телекомунікаційних мережах. Розроблено метод керування перевантаженнями телекомунікаційної мережі з використанням нейронної мережі як системи моніторингу та керування. Запропоновано й обґрунтовано схему багатокрокового передбачення стану черги. Для передбачення та завчасного виявлення перевантаження використано апарат загальної теорії чутливості з непрямим зворотним зв'язком і керуванням активністю джерел повідомлень. Результати цієї теорії використано для побудови системи керування з непрямим зворотним зв'язком, що дозволяє економити каналний та обчислювальний ресурси. У результаті перевірки теоретичних результатів шляхом комп'ютерного моделювання отримано кількісні порівняльні оцінки ефективності (точності та потрібного обчислювального ресурсу) розробленого методу та методів, що існували раніше. Можна стверджувати, що з довершеною архітектурою нейромережі, придатною для моделювання динаміки системи, можна отримати уповні задовільну продуктивність телекомунікаційної системи як об'єкта керування.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Tanenbaum, A. S., Andrew, S., & David, J. (2011). *Wetherall*. PrenticeHall, Cloth. 960 p.
- [2] Stallings, W. (2016). *Foundations of Modern Networking: SDN, NFV, QoE, IoT, and Cloud*. Pearson Education, Inc., OldTappan. New Jersey. 544 p.
- [3] Mao, G. (2017). *Connectivity of Communication Networks* Springer International Publishing AG. Springer. 435 p.
- [4] Виноградов, Н. А., Дрововозов, В. И., Лесная, Н. Н., & Зембицкая, А. С. (2006). Анализ нагрузки на сети передачи данных в системах критичного применения. *Зв'язок*, 1(61), 9–12.
- [5] Bonaventure, O. (2018). *Computer Networking: Principles, Protocols and Practices, Release*. cnp3book. 272 p.
- [6] Keshav, S. (1991). *Congestion Control in Computer Networks* [PhD Thesis University of California].
- [7] Kurose, J. F., & Keith, W. Ross. (2017). *Computer Networking: A Top-Down Approach, 7th ed*. Pearson Education, Inc. 864 p.
- [8] Göransson P., Black, C. Culver, T. (2017). *Software Defined Networks: A Comprehensive Approach, 2nd ed*. Morgan Kaufmann, US, 409 p.
- [9] Максимов, В. В., & Чмихун, С. О. (2014). Класифікація алгоритмів боротьби з перевантаженнями. *Наукові записки Українського науково-дослідного ін-ту зв'язку*, 5(33), 73–79.
- [10] Максимов В. В., & Чмихун, С. О. (2015). Дослідження алгоритму боротьби з перевантаженнями TCP VENO. *Телекомунікаційні та інформаційні технології*, 4, 30–36.
- [11] Торошанко, Я. І. (2016). Аналіз чутливості систем масового обслуговування на основі моделі адаптації і регулювання зовнішнього трафіка. *Вісник Хмельницького нац. ун-ту*, 6(243), 171–175.
- [12] Vinogradov, N., Stepanov, N., Toroshanko, Y., Cherevyk, V., Savchenko, A., Hladkykh, O., Toroshanko, V., & Uvarova, T. (2019). Development of the method to control telecommunication network congestion based on a neural model. *Eastern European journal of advanced technologies*, 2(9), 67–73.
- [13] Zhaoming, L., Pan, Q., & Wang, L. (2016, December 9). Overload Control for Signaling Congestion of Machine Type Communications in 3GPP Networks. *Xiangming WenPLOS ONE*. 11 p.
- [14] Гладких, В. М., & Торошанко О. С. (2017). Ієрархічна маршрутизація з балансуванням навантаження в сенсорних мережах. *Вісник Національного ун-ту "Львівська політехніка": Радіoeлектроніка та телекомунікації*, 885, 68–75.
- [15] Климаш, М. М., Стрихалюк, Б. М., & Кайдан, М. В. (2010). Тензорне подання алгоритмів маршрутизації. *Зв'язок*, 1, 33–35.

## REFERENCES

- [1] Tanenbaum, A. S., Andrew, S., & David, J. (2011). *Wetherall*. PrenticeHall, Cloth. 960 p.
- [2] Stallings, W. (2016). *Foundations of Modern Networking: SDN, NFV, QoE, IoT, and Cloud*. Pearson Education, Inc., OldTappan. New Jersey. 544 p.
- [3] Mao, G. (2017). *Connectivity of Communication Networks* Springer International Publishing AG. Springer. 435 p.
- [4] Vinogradov, N. A, Drovovozov, V. I., Lesnaya, N. N., & Zembytskaya, A. S. (2006). Analysis of the load on data transmission networks in critical application systems. *Communication*, 1 (61), 9–12.
- [5] Bonaventure, O. (2018). *Computer Networking: Principles, Protocols and Practices, Release*. cnp3book. 272 p.
- [6] Keshav, S. (1991). *Congestion Control in Computer Networks* [PhD Thesis University of California].
- [7] Kurose, J. F., & Keith, W. Ross. (2017). *Computer Networking: A Top-Down Approach, 7th ed*. Pearson Education, Inc. 864 p.
- [8] Göransson P. Software Defined Networks: A Comprehensive Approach, 2nd ed. / Paul Göransson, Chuck Black, Timothy Culver. – Morgan Kaufmann, US, 2017. – 409 p.
- [9] Maksimov, V. V., & Chmyhun, S.O. (2014). Classification of congestion control algorithms. *Scientific Notes of the Ukrainian Research Institute of Communications*, 5(33), 73–79 [in Ukrainian].
- [10] Maksimov V. V., & Chmyhun, S.O. (2015). A study of the TCP VENO congestion control algorithm. *Telecommunications and Information Technologies*, 4, 30–36 [in Ukrainian].
- [11] Toroshanko, Ya. I. (2016). Sensitivity analysis of mass service systems based on the model of adaptation and regulation of external traffic. *Bulletin of the Khmelnytskyi National University*, 6(243), 171–175 [in Ukrainian].
- [12] Vinogradov, N., Stepanov, N., Toroshanko, Y., Cherevyk, V., Savchenko, A., Hladkykh, O., Toroshanko, V., & Uvarova, T. (2019). Development of the method to control telecommunication network congestion based on a neural model. *Eastern European journal of advanced technologies*, 2(9), 67–73.
- [13] Zhaoming, L., Pan, Q., & Wang, L. (2016, December 9). Overload Control for Signaling Congestion of Machine Type Communications in 3GPP Networks. *Xiangming WenPLOS ONE*. 11 p.
- [14] Hladkykh, V. M., & Toroshanko, O. S. (2017). Hierarchical routing with load balancing in sensor networks. *Bulletin of the Lviv Polytechnic National University: Radioelectronics and Telecommunications*, 885, 68–75 [in Ukrainian].
- [15] Klymash, M. M., Strykhaluk, B. M., & Kaidan, M. V. (2010). Tensor representation of routing algorithms. *Connection*, 1, 33–35 [in Ukrainian].

Стаття надійшла до редколегії

25.03.2023



## Comparative analysis of the efficiency of telecommunication network overload detection schemes

*The scheme of congestion detection and regulation of input data flow based on the analysis of the sensitivity function of the telecommunication network performance is considered. The gradient of the sensitivity function characterizes the rate of change of this function and provides the optimal direction for adjusting the speed of the data source. To determine the sensitivity function, the use of a simple neural network model of a dynamic system is proposed. Determination of the gradient on the current value of the sign of the sensitivity function of the performance indicator is based on the algorithm of additive increase / multiple decrease. This algorithm is an alternative to the system of overload prediction and flow control, based on the control of the current value of the queue in comparison with a given threshold. The neural model for multi-step prediction of the queue state on the side of the telecommunication network receiver is considered.*

*The results of comparative analysis of congestion control methods based on queue length analysis and sensitivity analysis with 1-step and 3-step horizons predicting network status are presented. The study was conducted for sinusoidal function of the narrow queue. It is shown that the key performance indicators for the sensitivity function-based scheme are better than for the queue length analysis scheme. The queue size-based scheme is more sensitive to changes in queue maintenance speed, and data source speed fluctuations are less sensitive for the sensitivity-based scheme. For systems based on sensitivity function analysis, a 3-step horizon predictor provides better performance and a smaller maintenance queue than a 1-step horizon scheme.*

**Keywords:** telecommunication network; congestion forecasting; sensitivity function; gradient; neural system; queue management; prediction horizon.



**Олександр Торошанко,**  
канд. техн. наук, асист.  
Асистент кафедри кібербезпеки та захисту інформації факультету інформаційних технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Київ, Україна.

**Oleksandr Toroshanko,**  
PhD (Engin.), Assistant Prof.  
Assistant Professor of the Cyber Security and Information Protection Department of the Faculty of Information Technologies of Taras Shevchenko Kyiv National University. Kyiv, Ukraine.



**Юрій Щєбланін,**  
канд. техн. наук, ст. наук. співроб.  
Доцент кафедри кібербезпеки та захисту інформації факультету інформаційних технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Київ, Україна.

**Yury Shcheblanin,**  
PhD (Engin.), Senior Researcher.  
Associate Professor of the Cyber Security and Information Protection Department of the Faculty of Information Technologies of Taras Shevchenko Kyiv National University. Kyiv, Ukraine.