

УДК 621.396

DOI 10.24144/2616-7700.2022.1(40).205-219

С. В. Сальник

Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського",

Провідний науковий співробітник науково-організаційного відділу науково-дослідного центру,

Кандидат технічних наук

sergey-v-s@ukr.net

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4463-5705>

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ МЕТОДІВ УПРАВЛІННЯ ПОТОКАМИ ДАНИХ В МОБІЛЬНИХ РАДІОМЕРЕЖАХ НА ОСНОВІ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

В роботі проведена оцінка ефективності функціонування методів управління потоками даних в мобільних радіомережах на основі нейронних мереж яка оснований на моделюванні мобільних радіомереж з урахуванням функціонування підсистеми управління потоками даних з використанням мови програмування Python, відкритої програмної бібліотеки TensorFlow та модулів-сигнатур KEGG MODULE. Зокрема проведено: оцінку ідентифікації параметрів трафіка в мобільних радіомереж, оцінку навчання бази знань підсистеми управління потоками даних в мобільних радіомереж для методу оцінки навчання бази знань, оцінку прогнозування часу перевантаження маршрутів передачі даних в мобільних радіомереж для методів прогнозування, оцінку побудови та підтримки маршрутів передачі даних в мобільних радіомереж для методів побудови та підтримки маршрутів передачі даних, оцінку процесу моніторингу стану функціонування підсистеми управління потоками даних в мобільних радіомереж для методів оцінки процесу моніторингу стану функціонування підсистеми управління потоками даних в мобільних радіомереж. Відповідно зазначеного було зафіксовано підвищення точності ідентифікації параметрів даних, зменшення часу навчання бази даних, зменшення часу прогнозування часу перевантаження маршрутів передачі даних у мобільних радіомережах, збільшення часу існування маршрутів передачі даних, збільшення пропускну спроможності інформаційного напрямку, зменшення часу прийняття рішення щодо моніторингу стану функціонування підсистеми управління потоками даних в мобільних радіомереж, збільшення точності прийняття рішення щодо моніторингу стану функціонування підсистеми управління потоками даних в мобільних радіомереж за рахунок застосування інтелектуалізації процесів прийняття рішень на основі використання нейронних мереж. Проведено оцінку рівня адекватності запропонованої моделі та економічна оцінка, яка показала прибутковий рівень економічної ефективності.

Ключові слова: мобільна радіомережа, управління потоками даних, оцінка ефективності функціонування, інтелектуалізація процесів прийняття рішень, нейронна мережа.

1. Вступ. Постановка проблеми. Проведений аналіз предметної області показує, що процес порушення функціонування процесу управління потоками даних (УПД) є відповідно характеристикою рівня функціонування мобільних радіомережах на основі нейронних мереж із заданою якістю обслуговування, а будь яке порушення функціонування УПД несе у собі загрозу здійснення впливу на інформаційну, програмну, апаратну складові МР, елементи мережі або мережу в цілому. Враховуючи особливості побудови мобільних радіомереж (МР),

УПД потребує багаторівневої структури управління направленої на підтримання заданої якості обслуговування МР [1,2]. Однак основна частина запропонованих на сьогодні рішень щодо оцінки рівня ефективності функціонування УПД в МР не надають числових методів визначення рівня функціонування системи. Оцінка таких показників, зазвичай, дається відповідними експертами. Також, слід зазначити, що в переважній більшості розробка підходів щодо оцінки ефективності здійснюється для систем, які не враховують характеристичних особливостей МР, тобто прослідковується обмеженість саме таких підходів. Тому, доцільно адаптувати нині існуючі підходи оцінки ефективності для проведення оцінки розроблених методів та методики з урахуванням особливостей МР.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існуючі УПД показують, що їх побудова ґрунтується на застосуванні інформаційних, програмних та апаратних засобів, які функціонують в комп'ютерних, провідних, стаціонарних мережах та мобільних радіомережах. Тому, для оцінювання ефективності функціонування УПД в МР необхідно використовувати стандарти оцінки характеристик їх якості. Головним завданням стандартів які регламентують питання управління потоками даних є узгодженість позицій та запитів щодо порядку функціонування продуктів інформаційних технологій. У якості загальних показників стандартів можливо назвати такі, як: універсальність, гнучкість, гарантованість, реалізація, актуальність, простота критеріїв, однозначність параметрів вибору функціонування системи. До відомих стандартів в даній області відносяться: ISO/IEC 7498-4; ISO 10164-16.2; ISO/IEC 10737-1; ISO/IEC 10733; ISO/IEC 20000:2005; ISO/IEC 38500; ISO / IEC 23988: 2007; TANAG 4024 та 4246, Диаграмма потоков данных; Спецификация IEEE 802 та інші [3,4].

Виходячи із вимог стандартів, ефективність функціонування УПД залежить від множини взаємопов'язаних між собою критеріїв: адекватності, точності та швидкості прийняття управлінських рішень, функціональності, захищеності, надійності, стійкості до відмов, здатності до відновлення, продуктивності, часової адаптованості та інших. Однак на сьогодні не існує універсального підходу до визначення критеріїв оцінки якості функціонування УПД, а в основі визначення критеріїв знаходиться множина цілей, які повинна виконувати УПД [5,6].

Розглядаючи питання проведення оцінки ефективності УПД в МР, методика оцінки повинна враховувати особливості МР та забезпечити проведення окремої оцінки ефективності роботи методів УПД; отримання порівняльних графіків оцінки УПД. Виходячи з зазначеного та проведеного огляду методів оцінки ефективності, з урахуванням огляду проведення оцінок ефективності розробляемих методів [7,8].

Метою статі є проведення оцінки ефективності функціонування розроблених методів управління потоками даних в мобільних радіомережах на основі нейронних мереж, для оцінювання рівня функціонування УПД в МР.

Об'єктом розгляду статті є процес забезпечення якості передачі інформації в МР.

Предметом дослідження є методи функціонування УПД в МР.

2. Виклад основного матеріалу. Вхідними даними оцінки ефективності є параметри зазначені в методах. Обмеження: повнота вибірки обмежена об'ємом бази даних з можливість самонавчання, точність прийняття управлінського рішення не може перевищувати 100%; швидкість прийняття управлін-

ського рішення повинне наближуватись до рівня режиму реального часу; час існування маршрутів передачі даних та пропускна спроможність інформаційного напрямку не повинна бути гіршою ніж у подібних методах [9,10].

Розглядаючи питання проведення оцінки ефективності УПД в МР, процес оцінки повинен враховувати особливості МР та забезпечити проведення: окремої оцінки ефективності роботи елементів УПД; розрахунків з урахуванням впливів типів даних на елементи мережі; отримання порівняльних графіків оцінки УПД.

В цілому виходячи з зазначеного та проведеного огляду методів оцінки ефективності [7,8], з урахуванням огляду проведення оцінок ефективності розробляємих методів, структурна схема нейронних мереж методів УПД та взаємозв'язок між ними зазначена на рис. 1.

Моделювання нейронних мереж методів УПД відбувається із застосуванням програмних пакетів та включає наступні процедури: побудова передаючої/приймальної частини МР з відповідної УПД, зв'язності між елементами МР, генерацію/розсилка/отримання повідомлень, побудова/наповнення/навчання бази знань, тощо; параметрами моделі є: спосіб розсилки повідомлень (періодичний або пов'язаний з подіями); частота генерації повідомлень; глибина розсилання повідомлень (кількість елементів УПД, вузлів); генерація повідомлення для відправки; зайняття і звільнення повідомленням вхідної (вихідної) черги вузла; відмова і відновлення каналу радіозв'язку; виникнення піку вхідного трафіка; нормалізація трафіка та ін.). Модель буде створено з використанням мови програмування Python, відкритої програмної бібліотеки для навчання та тренувати нейронних мереж TensorFlow, та модуля-сигнатур KEGG MODULE. Формалізування процесу оцінки ефективності методів виконано завдяки графічному моделюванню в графічних нотаціях. Функціональна модель являє собою набір блоків, кожен з яких представляється як "чорний ящик" з входами і виходами, управлінням та механізмами, що деталізуються до необхідного рівня [4].

В цілому процес моделювання управління потоками даних буде зведений до кроків:

- Отримання вхідних даних, трафіка на основі протоколів, методів управління;
- Розподіл вхідних даних – розподіл параметрів трафіка відповідно до функціональних особливостей окремих елементів моделі УПД;
- Моделювання функціонування окремих елементів моделі УПД в МР та їх зв'язності;
- Отримання вихідних значень (відповідного управлінського рішення) функціонування моделі УПД.

Контроль управління потоками даних здійснюється на основі спостереження за станом мережі з метою з'ясування рівня функціонування мережі, контролю функціонування УПД та проведення тестування елементів УПД. При розробці програмного модулю моделі очікується, що для розробленого програмного модуля час, який витрачається для контролю одного вузла складатиме приблизно 30 мілісекунд. Процес контролю виконується одночасно на кожному вузлі, тому час аналізу та контролю не залежить від кількості вузлів. З цього виходить, що кількість вузлів, які будуть контролюватися, не впливатимуть на продуктивність роботи розробленого модуля, а навантаження буде зростати виключно на

обчислювальну мережу [2,11].

Наступним етапом, є – отримання даних функціонування моделі, дослідження властивостей моделі та вирішення завдань пов'язаних з функціонуванням УПД.

Вхідними даними оцінки ефективності є параметри зазначені в методах.

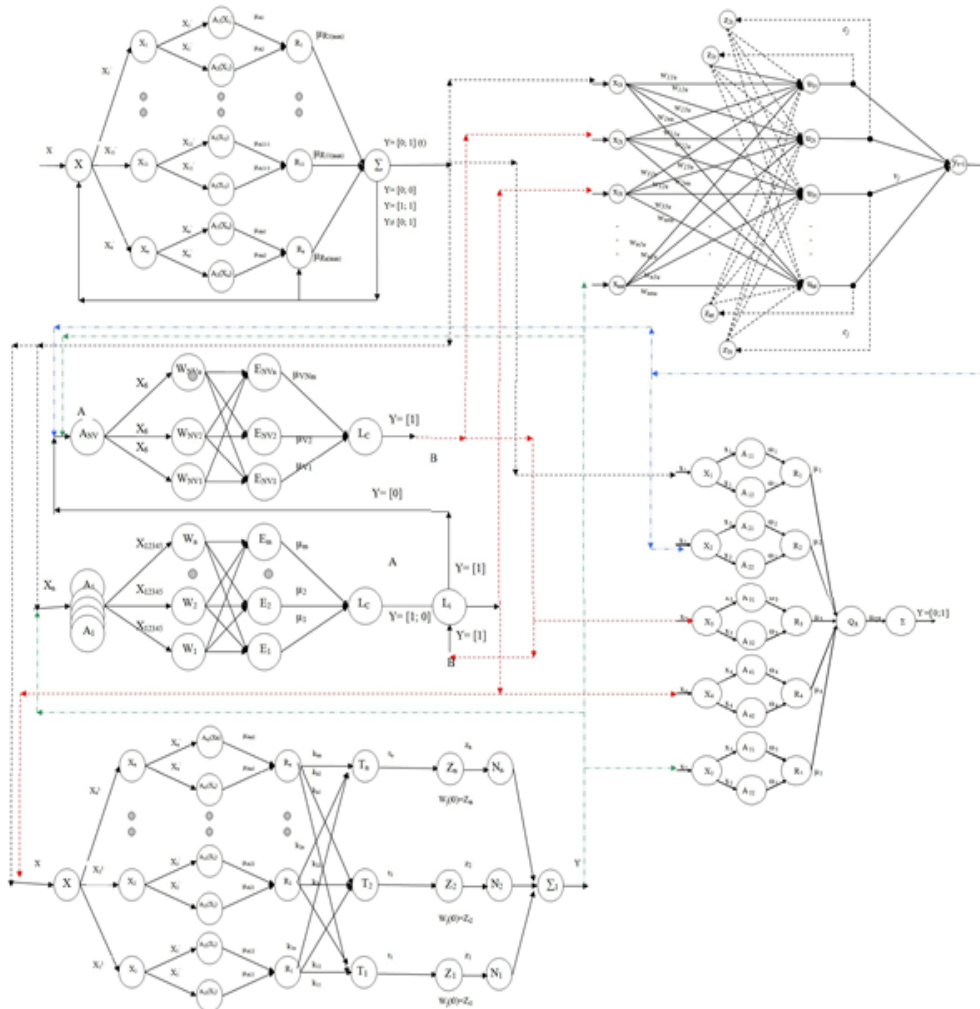


Рис. 1. Структурна схема нейронних мереж методів УПД та взаємозв'язок між ними

Обмеження: повнота вибірки обмежена об'ємом бази даних з можливість самонавчання, точність прийняття управлінського рішення не може перевищувати 100%; швидкість прийняття управлінського рішення повинне наближуватись до рівня режиму реального часу; час існування маршрутів передачі даних та пропускна спроможність інформаційного напрямку не повинна бути гіршою ніж у подібних методів.

Для рішення задачі, де необхідно одночасно враховувати множину критеріїв, приходимо до оптимального рішення, з наступною умовою. Нехай є множина допустимих рішень у деякому завданні – допустиме рішення. Допустимо, що кожне рішення оцінюється за критеріями. На сьогоднішній день є ефектив-

на конструкція для рішення подібних багатокритеріальних задач. Для цього, сформулюємо необхідну умову Парето – оптимальності Каруша-Куна-Такера:

Обмеження $g_i(l)$ у точці l^* називається активним, якщо $g_i(l^*) = 0$. Множину усіх активних обмежень $\{i \in 1, \dots, k \mid g_i(l^*) = 0\}$ позначимо $A(l^*)$.

Нехай виконується умова: множина векторів $\{\nabla g(l^*) \mid i \in A(l^*)\}$ лінійно незалежна. Якщо точка l^* є (локальною) Парето-оптимальною для задачі оптимізації, яка матиме загальний вигляд:

$$\min_{l \in R^n} f(l), \quad (1)$$

при обмеженнях $g(l) \leq 0$, де $l = (l_1, \dots, l_n)$ – вектор змінних; $f = (f_1, \dots, f_k)$ – цільова векторозначна функція; $g = (g_1, \dots, g_m)$ – векторозначна функція обмежень.

Точка l , яка задовольняє всі обмеження, є допустимою, а множина всіх допустимих точок матиме значення: $\Omega = \{l \mid g(l) \leq 0\}$.

З урахуванням декількох f компонентів, при застосуванні вказаних вище значень отримаємо значення багатокритеріальної оптимізації:

$$(f_1(l), \dots, f_k(l)) \rightarrow \min, \quad l \in \Omega \quad (2)$$

то існують вектори $\lambda \in R^k$ та $\mu \in R^m$ такі, що:

$$\sum_{i=1}^k \lambda_i \nabla f_i(l^*) + \sum_{j=1}^m \mu_j \nabla g_j(l^*) = 0, \quad (3)$$

$$\mu_j g_j(l^*) = 0, \quad j = 1, \dots, m, \quad \lambda \geq 0, \quad \lambda \neq 0, \quad \mu \geq 0.$$

Якщо точка l^* є локальною Парето-оптимальною для значення багатокритеріальної оптимізації (4.24), то система 4.26, не матиме рішення.

$$(\nabla f_i(l^*))^T \nu < 0, \quad i = 1, \dots, k, \quad \nu \in T_{\Omega}(l) \quad (4)$$

де ν – вектор коефіцієнтів з бази розв'язків.

А точка, в якій виконані умови Парето – оптимальності (3) та (4) будуть критичними. Рішення $l^* \in L$ буде Парето-оптимальним (ефективним), якщо не існує іншого рішення $l \in L$, для якого $H_i(l) \geq H_i(l^*)$, $i = \overline{1, n}$, $\exists i_0 : H_{i_0}(l) > H_{i_0}(l^*)$ [8,10].

Показники ефективності методів УПД в МР. В ході проведення моделювання, було отримано наступні значення показників ефективності:

В цілому вказана на графіках оцінка ефективності функціонування УПД демонструє: підвищення точності прийняття управлінського рішення (ідентифікації параметрів даних, прогнозування часу перевантаження маршрутів передачі даних у МР, моніторингу стану функціонування МР; зменшення часу прийняття управлінського рішення (навчання бази даних даних, прогнозування часу перевантаження маршрутів передачі даних у МР, моніторингу стану функціонування МР); збільшення часу існування маршрутів передачі даних; збільшення пропускної спроможності інформаційного напрямку для запропонованих методів УПД в порівнянні з існуючими або подібними методами, завдяки використанню розподілу множини різномірних параметрів, застосуванні

алгоритмів управління потоками даних з використанням нейронних мереж. В свою чергу з графіків видно, що при збільшенні кількості ітерацій функціонування, значення оціночних показників змінюється у бік покращення в наслідок застосування алгоритмів навчання.

1. Оцінка ідентифікації параметрів графіка в МР, для запропонованого методу та подібних методів ідентифікації [12] та [13] відповідно:

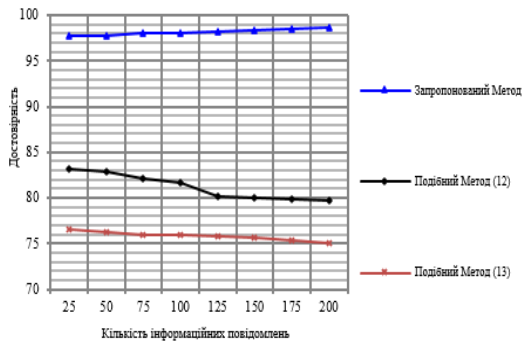


Рис. 2. Залежність достовірності прийняття управлінського рішення від кількості інформаційних повідомлень

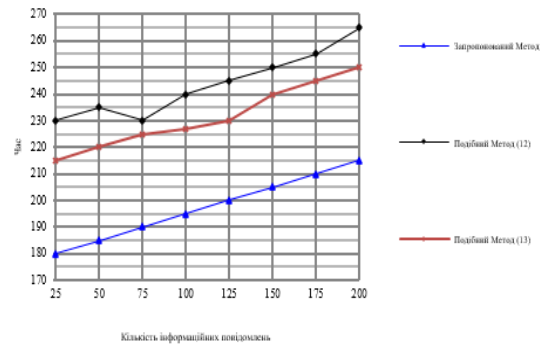


Рис. 3. Залежність часу прийняття управлінського рішення від кількості інформаційних повідомлень

2. Оцінка навчання бази знань УПД в МР для запропонованого методу та подібного методу [14] оцінки навчання бази знань:

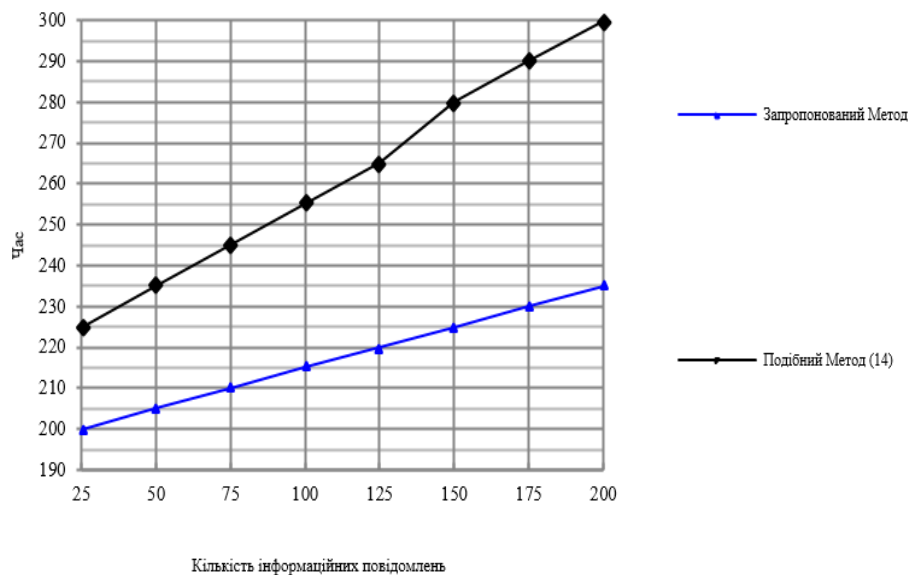


Рис. 4. Залежність часу навчання від кількості інформаційних повідомлень

3. Оцінка прогнозування часу перевантаження маршрутів передачі даних в МР, для запропонованого методу та подібних методів прогнозування [15] та [16] відповідно:

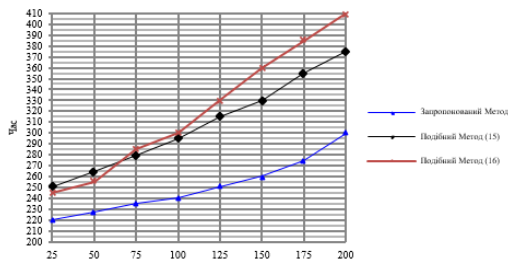


Рис. 5. Залежність часу прогнозування управлінського рішення від кількості інформаційних повідомлень

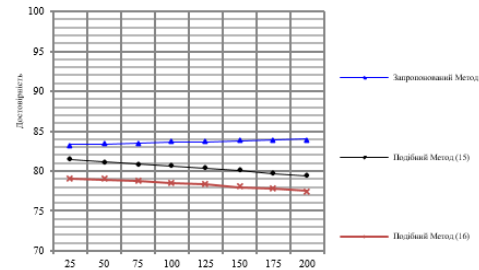


Рис. 6. Залежність достовірності прогнозування управлінського рішення від кількості інформаційних повідомлень

4. Оцінка побудови та підтримки маршрутів передачі даних в МР, для запропонованого методу та подібних методів побудови та підтримки маршрутів передачі даних [17] та [18] відповідно:

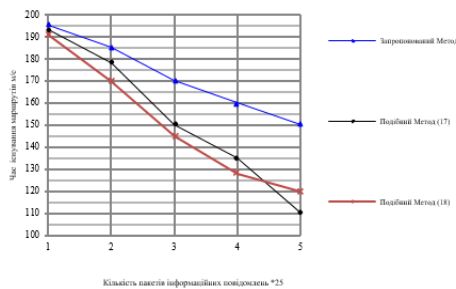


Рис. 7. Залежність часу існування маршрутів передачі даних від кількості пакетів інформаційних повідомлень

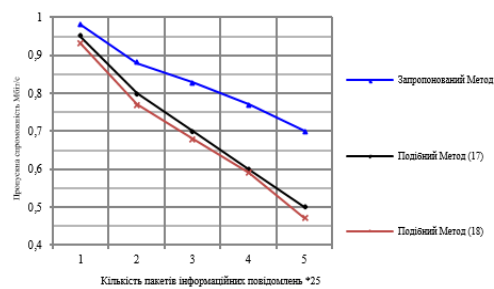


Рис. 8. Залежність пропускнуої спроможності інформаційного напрямку від кількості пакетів інформаційних повідомлень

Значення оціночних показників удосконалених методів УПД мають вигреш у порівнянні з існуючими та подібними методами, а саме:

- підвищити точність ідентифікації параметрів даних на 18–23% при збереженні значення рівня часу прийняття управлінського рішення не вищого, ніж у існуючих методів, за рахунок використання алгоритмів самонавчання НМ (рис. 2 та 3);
- зменшити час навчання бази даних даних на 15–20% за рахунок використання алгоритму кластеризації даних на основі нечіткого виводу ANFIS (рис. 4);
- зменшити час прогнозування часу перевантаження маршрутів передачі даних у МР зменшується на 20–25% за умов що точність прогнозування часу перевантаження маршрутів передачі даних у МР не гірший ніж у подібних методів за рахунок застосування алгоритму навчання нейронної мережі та проведенні підрахунку потенціалу нейронів мережі (рис. 5 та 6);

5. Оцінка процесу моніторингу стану функціонування УПД в МР, для запропонованого метода та подібних методів оцінки процесу моніторингу стану функціонування УПД в МР [19] та [20] відповідно:

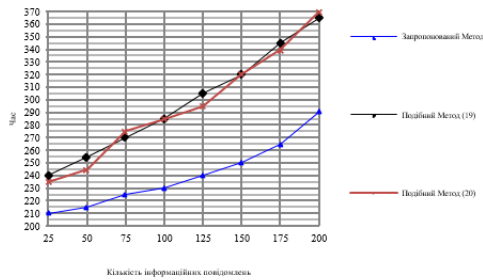


Рис. 9. Залежність часу прийняття управлінського рішення щодо моніторингу стану функціонування мережі від кількості інформаційних повідомлень

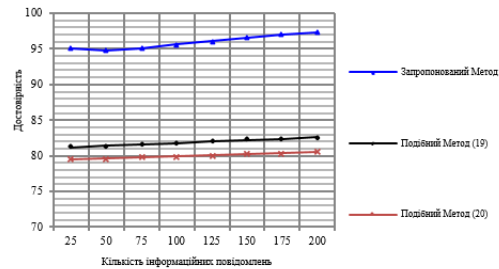


Рис. 10. Залежність достовірності прийняття управлінського рішення щодо моніторингу стану функціонування мережі від кількості інформаційних повідомлень

- збільшити час існування маршрутів передачі даних на 18–23% та збільшити пропускну спроможність інформаційного напрямку на 14–19%, за рахунок зменшення завантаження каналів мережі та скорочення об'ємів службового трафіка при збереженні значення рівня часу прийняття управлінського рішення не вищого, ніж у подібних способів (методів), з використанням алгоритмів контролю даних мережі НМ (рис. 7 та 8);
- зменшити час прийняття рішення щодо моніторингу стану функціонування УПД в МР на 17–22%, збільшити точність прийняття рішення щодо моніторингу стану функціонування УПД в МР на 16–23%, при збереженні повноти навчальної виборки запропонованого методу не нижчого, ніж у існуючих методів, за рахунок використання нейронних мереж, алгоритму розподільчої ідентифікації та ідентифікації нових типів порушень (рис. 9 та 10).

Оцінка адекватності. Під адекватністю будемо розуміти ступінь відповідності розробляємої моделі тому стану, для якого модель була розроблена. Зазвичай з цією метою застосовують методи математичної статистики. Суть зазначених методів полягає у перевірці висунутої гіпотези щодо адекватності моделі на основі певних критеріїв, здійснення якої можливе наступними способами: за відповідністю середніх значень випадкової величини (параметра), або по відповідності дисперсій випадкової величини (параметра) [21].

Процедура оцінки заснована на порівнянні вимірювань на реальній системі (чи її прототипі) і результатів досліджень на моделі. Так як на даний момент існуючий прототип МР відсутній, то оцінка адекватності моделі будемо проводити шляхом її порівняння з моделлю, яка передбачала більш детальний опис функціонування моделі на рівнях моделі OSI. Зокрема, модель, яка слугуватиме у якості прототипу, передбачає детальніший опис функціонування МР на рівнях моделі OSI. При цьому, дослідження адекватності запропонованої моде-

лі було використано перший спосіб (відповідність середніх значень випадкової величин (параметрів) [1,22].

У ході дослідження здійснюється перевірка гіпотези про близькість середніх значень кожної n -ї компоненти відгуків досліджуваної моделі Y_k відомим середнім значенням n -ї компоненти відгуків моделі-прототипу Y_k^* . На кожній з моделей проводять $N^* = N$ експериментів, а за отриманими вибірками обчислюються оцінки математичного сподівання та дисперсії відгуків обох моделей з використанням наступних співвідношень: $Y_k Y_k^*$.

Всього було здійснено п'ять досліджень ($k = 5$) на кожній з моделей. Результати експериментів моделей зазначені в таблиці 1.

Перевірка адекватності здійснювалася шляхом оцінки середніх значень відгуків моделі-прототипу та досліджуваної моделі при однакових параметрах системи, де

– інтервал часу прийняття управлінського рішення та точність (достовірність) прийняття рішення.

З використанням виразів:

$$\bar{Y}_n = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N Y_{nk}; \quad D_n = \frac{1}{N-1} \sum_{k=1}^N (Y_{nk} - \bar{Y}_n)^2, \quad (5)$$

оцінимо значення оцінок математичного сподівання та дисперсії відгуків ІМ і (табл. 1): де $N^* = N = 5$ – кількість експериментів, яка була здійснена для кожної з моделей.

Основою перевірки гіпотези є різниця $E_n = (\bar{Y}_n - \bar{Y}_n^*)$, за формулою:

$$D_{\delta n} = \frac{(N^* - 1)D_n + (N - 1)D_n^*}{N + N^* - 2}, \quad (6)$$

Таблиця 1.

Результати експериментів моделей

№ з/п	Позначення відгуку ІМ	Значення складових вибірки при					Середнє значення відгуку
		$k = 1$	$k = 2$	$k = 3$	$k = 4$	$k = 5$	
1.	T	0,90	0,88	0,89	0,90	0,91	0,896
2.	T^*	0,89	0,88	0,87	0,89	0,9	0,886
3.	P_r	1,2	1,3	1,2	1,3	1,3	1,26
4.	P_r^*	1,3	1,4	1,3	1,3	1,4	1,34

робимо оцінку $D_{\delta n}$ дисперсії різниці $(\bar{Y}_n^* - \bar{Y}_n)$ для кожної n -ї компоненти відгуків моделей, а результати записуємо в табл. 2. Так як величини $D_{\delta n}$ та $(\bar{Y}_n^* - \bar{Y}_n)$ є статистично незалежними, то можемо використати t -статистику:

$$t_n = (\bar{Y}_n^* - \bar{Y}_n) \sqrt{\frac{N^* N}{D_{\delta n} (N + N^*)}}. \quad (7)$$

Використовуючи вираз знайдемо значення t -статистики (вибравши кількість ступенів рівним $\gamma = N + N^* - 2 = 5 + 5 - 2 = 8$), які задаються рівнем залежності $\alpha = 0,05$ та за конкретним значенням кількості ступенів γ , та за таблицями знаходять критичне значення t -статистики t_δ .

Таблиця 2.

Результати експериментів моделей

№ з/п	Позначення відгуку ІМ	Оцінка дисперсії відгуку $D_n \vee D_n^*$	Дисперсія різниці $D_{\delta n}$	Значення статистики t_n
1.	T	0,00018	0,00015	1,65
2.	T^*	0,00015		
3.	P_r	0,003	0,005	1,76
4.	P_r^*	0,007		

Якщо виконується нерівність $t_n \leq t_{\delta}$, то гіпотеза про близькість середніх значень n -ї компоненти відгуків моделей приймається. Тільки при наближеності відгуків за всіма компонентами векторів Y_k^* та Y_k можна говорити про адекватність моделей.

Скористаємося таблицею розподілу t -статистики, задавшись рівнем залежності $\alpha = 0,05$ та $\gamma = 8$, для визначення критичного значення t -статистики ($t_n=1,85$). Порівнюючи кожне із значень t -статистики в табл. 2 з t_n ,

$$(t_s = 1,65) < (1,85 = t_n);$$

$$(t_{\delta} = 1,76) < (1,85 = t_n),$$

можна прийняти гіпотезу про наближеність середніх значень за кожною компонентою відгуків моделей, які відрізняються ступенем деталізації процесу передачі даних в МР, що свідчить про їх адекватність.

В цілому з отриманих результатів можна зробити *висновок* про близькість середніх значень за кожним компонентом відгуків моделей, які розглядалися.

Калібрування. Калібруванням називається зміна структури і складу моделі таким чином, щоб відредагована модель була адекватна по кожному з визначених параметрів p , встановлених в моделі. Калібрування проводиться в 3 етапи: калібрування порівнянням законів розподілу ймовірності; калібрування балансуванням моделі; калібрування оптимізацією моделі. Кожен із етапів містить власний функціональний алгоритм дій з використанням спеціальних засоби оцінки калібрування моделі по кожному з параметрів. Калібрування ведеться в наступній послідовності. Спочатку калібрування моделі проводять шляхом порівняння розподілу ймовірності результатів, отриманих на об'єкті - Y_{pk}^* і на моделі - Y_{pk} . Якщо розподіли збігаються, а адекватності не досягнуто, переходять до балансування моделі. На цьому етапі визначення параметрів моделі змінюють таким чином, щоб результати співпадали. Якщо балансування не призводить до адекватності моделі, переходять до оптимізації. В ході проведення оцінки адекватності, було встановлено адекватність розробленої моделі, саме тому калібрування моделі не потребується [10,23].

Економічна оцінка ефективності функціонування методів УПД. Оцінка використання УПД в МР ґрунтується на співвідношенні корисних результатів її функціонування до використаних ресурсів на її побудову [21,24]. Основним показником ефективності УПД є коефіцієнт ефективності K_{ef} , як показник її наближення до граничних затрат на побудову УПД, де $S_{пууд}$ – за-

трати на побудову УПД; $M_{ПУПД}$ – граничні витрати на процес функціонування УПД:

$$K_{ef} = \frac{S_{ПУПД}}{M_{ПУПД}}, \quad (8)$$

Таким чином найбільш ефективним буде метод УПД в якому при найменших витратах на його побудову необхідні найбільші витрати направлені на порушення його функціонування [25,26].

В свою чергу, основними показниками економічної ефективності УПД є коефіцієнт захищеності та економічна ефективність. Економічно ефективним буде метод УПД, в якому виконуються наступні умови:

$$\begin{cases} S_{ПУПД} \leq \Delta R_I + \Delta R_{OI} + \Delta R_{ПУПД} \\ S_{ПУПД} \leq S_I + S_{OI} \end{cases}, \quad (9)$$

де $\Delta R_I + \Delta R_{OI} + \Delta R_{ПУПД}$ – загальне зниження ризиків порушення для УПД; S_I – вартість інформації; S_{OI} – вартість об'єкту інформації; $S_{ПУПД}$ – сумарна вартість УПД; R_I – сумарний ризик порушення інформації; R_{OI} – сумарний ризик порушення об'єкту інформації; $R_{ПУПД}$ – сумарний ризик порушення УПД.

Вартість передаваної інформації, що передається на n рівні моделі OSI розраховується:

$$S_n = S_0 \cdot V_n, \quad (10)$$

де S_0 – вартість одиниці об'єму інформації; V_n – об'єм інформації, що передається на n рівні OSI.

З'ясуємо об'єм та вартість інформації, що передається на n рівні OSI:

$$V_n = \sum_{n=1}^N V_n, \quad (11)$$

$$S_0 = \sum_{n=1}^N S_n, \quad (12)$$

Однак для кожного i порушення по відношенню до j рівня моделі OSI визначається ймовірність реалізації p_{rij} цього порушення [27,28].

В свою чергу вартість порушення для кожного рівня моделі OSI дорівнює:

$$R_j = p_{rij} \cdot q_j. \quad (13)$$

де q_j вартість інформації j рівня.

Вартість повного порушення дорівнює сумі всіх порушень на рівнях OSI:

$$R_{II} = \sum_{j=1}^m R_j. \quad (14)$$

Як наслідок коефіцієнт економічної ефективності матиме вигляд:

$$K_{ef} = \frac{S_{ПУПД} - R_{ПУПД}}{M_{ПУПД}} \quad (15)$$

В ході оцінювання встановлено що $K_{ef} > 1$ (1,24), то це свідчить що запропонована УПД є ефективною.

3. Висновки. Було проведено оцінку ефективності функціонування методів УПД на основі нейронних мереж, яка основана на моделюванні МР з урахуванням функціонування УПД з використанням мови програмування Python, відкритої програмної бібліотеки TensorFlow, та модулів-сигнатур KEGG MODULE, зокрема проведено: оцінку ідентифікації параметрів трафіка в МР, оцінку навчання бази знань УПД в МР для методу оцінки навчання бази знань, оцінку прогнозування часу перевантаження маршрутів передачі даних в МР для методів прогнозування, оцінку побудови та підтримки маршрутів передачі даних в МР для методів побудови та підтримки маршрутів передачі даних, оцінку процесу моніторингу стану функціонування УПД в МР для методів оцінки процесу моніторингу стану функціонування УПД в МР. Відповідно зазначеного було зафіксовано підвищення точності ідентифікації параметрів даних на 18–23%, зменшення часу навчання бази даних на 15–20%, зменшення часу прогнозування часу перевантаження маршрутів передачі даних у МР на 20–25%, збільшення часу існування маршрутів передачі даних на 18–23%, збільшення пропускної спроможності інформаційного напрямку на 14–19%, зменшення часу прийняття рішення щодо моніторингу стану функціонування УПД в МР на 17–22%, збільшення точності прийняття рішення щодо моніторингу стану функціонування УПД в МР на 16–23% за рахунок застосування інтелектуалізації процесів прийняття рішень на основі використання нейронних мереж. Проведено оцінку рівня адекватності запропонованої моделі та економічна оцінка, яка показала прибутковий рівень економічної ефективності.

Список використаної літератури

1. Икаров И. М., Лохин В. М., Манько С. В., Романов М. П., Зайченко Д. О. Искусственный интеллект и интеллектуальные системы управления. *Москва: Наука*, 2006. 333 с.
2. Минович А. И., Романюк В. А. Методология оперативного управления мобильными радиосетями. *Зв'язок*, 2005. № 2. С. 53–58.
3. Романюк В. А. Архитектура системы оперативного управления тактичными радиомережами. *Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ „КПІ”*, 2009. № 3. С. 70–76.
4. Романюк В. А. Мобильные радиосети – перспективы беспроводных технологий. *Сети и телекоммуникации*, 2003. № 12. С. 62–68.
5. Войтишек А. В. Основы метода Монте – Карло в алгоритмах и задачах. Части I-V. *Новосибирск: Новосибирский Государственный университет*, 2004. 198 с.
6. Маслова Н. О. Методы оценки эффективности систем защиты информационных систем. *Искусственный интеллект. М.: МУТ*. 2008. С. 253–264.
7. Калинина В. Н., Панкин В. Ф. Математическая статистика. *Москва: Дрофа*, 2002. 336 с.
8. Штойер Р. Многокритериальная оптимизация. *Москва: Радио и связь*, 1992. 504 с.
9. Лотов А. В., Поспелова И. И. Многокритериальные задачи принятия решений. *Москва: МАКС Пресс*. 2008. 197 с.
10. Подиновский В. В., Ногин В. Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. *Москва: Наука. Главная редакция физмат литературы*. 1982. 64 с.
11. Романюк В. А., Сова О. Я., Жук П. В., Романюк А. В. Концепция иерархического построения интеллектуальных систем управления тактическими радиосетями класса MANET. *Сборник тезисов докладов и выступлений участников XXII Международной Крымской конференции [“СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии”]*, (Крым-Ко). 2012. С. 265.
12. Сальник С. В. Метод інтелектуальної ідентифікації параметрів трафіка в мобільних радіомережах військового призначення. *Збірник наукових праць Військового інституту телекомунікацій та інформатизації*. 2018. № 3. С. 94–102.

13. Дівіцький А. С., Сальник С. В., Голь В. Д., Сторчак А. С. Метод ідентифікації маршрутів передачі даних в бездротових самоорганізованих мережах спеціального призначення. *Збірник наукових праць «Information technology and security» Institute of special communication and information NTUU "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic institute"*, 2021. 9(1). С. 111–123.
14. Сальник С. В. Методика інтелектуального навчання бази знань підсистеми управління потоків даних в мобільних радіомережах військового призначення. *Збірник наукових праць Військового інституту телекомунікацій та інформатизації*. 2018. № 4. С. 103–112.
15. Олексенко В. П., Сальник С. В., Сальник В. В., Міночкін А. І. Метод прогнозування часу перевантаження маршрутів передачі даних в мобільних радіомережах. *Збірник наукових праць Військового інституту телекомунікацій та інформатизації*. 2017. № 4. С. 84–90.
16. Дівіцький А. С., Сальник С. В., Голь В. Д., Сидоркін П. Г., Сторчак А. С. Розробка моделі підсистеми прогнозування змін маршрутів передачі даних в мобільних радіомережах спеціального призначення. *Журнал "Східно-Європейський журнал передових технологій"*. 2021. № 3/9(111). С. 125-134.
17. Ефанова К. О., Бригадир С. П., Сальник С. В. Метод гібридної побудови маршрутів передачі даних в телекомунікаційних мережах спеціального призначення. *Науковий журнал "Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони". Національний університет оборони України імені Івана Черняківського*. 2019. № 1(34). С. 161–166.
18. Сальник В. В., Сальник С. В., Стрела Т. С., Олексенко В. П. Метод підтримки маршрутів передачі даних в мобільних радіомережах військового призначення на основі нечіткої логіки. *Збірник наукових праць «Наука і техніка повітряних сил Збройних Сил України» Харківський Національний університет Повітряних Сил імені І. Кожедуба*. 2017. № 4(29). С. 60–68.
19. Сторчак А. С. Модель оцінки стану захищеності інформації на основі керованих багатокрокових процесів прийняття рішення. *Спеціальні телекомунікаційні системи та захист інформації ІСЗЗІ НТУУ КПІ*. 2013. № 2(24). С. 112–118.
20. Сальник С. В., Сторчак А. С., Герасімов К. К. Аналіз функціонування систем управління державними інформаційними ресурсами. *Науково-технічний журнал Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. 2019. № 2(35). С. 47–54.
21. Ярушкіна Н. Г. Основы теории нечетких и гибридных систем. *Москва: Финансы и статистика, 2004*. 320 с.
22. Морозов А. С. Моделирование систем и процессов. URL: <http://studfile.net/preview/3073744/> (дата звернення: 01.12.2021).
23. Альянах И. Н. Моделирование вычислительных систем. *Ленинград: Машиностроение, 1988*. 223 с.
24. Головкин В. А. Нейронные сети: обучение, организация, применение. Нейрокомпьютеры и их применение: учебное пособие. *Москва: Наука*. 2001. 256 с.
25. Язов Ю. К. Основы методологии количественной оценки защищенности и эффективности защиты информации в компьютерных системах. *Ростов-на-Дону: Северо-Кавказский научный центр высшей школы*. 2006. 276 с.
26. Заенцев И. В. Нейронные сети: основные модели. Учебное пособие к курсу Нейронные сети для студентов 5 курса. *Воронеж*. 1999. 76 с.
27. Land A. H., Doig A. G. (2012). An automatic method of solving discrete programming problems. *Econometrica*, 28(3), 497–520.

Salnyk S. V. Evaluation of the efficiency of the functioning of the methods of data flow control in mobile radio water based on neural networks.

The paper evaluates the effectiveness of the functioning of data flow control methods in mobile radio networks based on neural networks, based on the modeling of mobile radio networks, taking into account the functioning of the data flow control subsystem using the Python programming language, the TensorFlow open software library and KEGG MODULE signature modules. In particular, the following were conducted: assessment of identification of traffic parameters in mobile radio networks, assessment of training of knowledge base of data flow management subsystem in mobile radio networks for method of

assessment of knowledge base training, assessment of congestion forecasting time in mobile radio networks for methods of construction and maintenance of data transmission routes, assessment of the process of monitoring the state of operation of the data flow control subsystem in mobile radio networks for methods of assessing the process of monitoring the functioning of the data flow control subsystem in mobile radio networks. Accordingly, there was an increase in the accuracy of identification of data parameters, reduction of database training time, reduction of prediction time of congestion of data transmission routes in mobile radio networks, increase of existence of data transmission routes, increase of information bandwidth, decrease of decision-making time. data flow management in mobile radio networks, increasing the accuracy of decision-making to monitor the functioning of the subsystem of data flow management in mobile radio networks through the use of intellectualization of decision-making processes based on the use of neural networks. An assessment of the level of adequacy of the proposed model and economic assessment, which showed a profitable level of economic efficiency.

Keywords: mobile radio network, data flow management, performance evaluation, intellectualization of decision-making processes, neural network.

References

1. Ykarov, Y. M., Lokhyn, V. M., Manko, S. V., Romanov, M. P., & Zaichenko, D. O. (2006). Yskusstvennii yntellekt y yntellektualnie systemi upravleniya. *Moskva: Nauka*, 333.
2. Mynochkyn, A. Y., & Romaniuk, V. A. (2005). Metodolohiya operatyvnoho upravleniya mobyl'nymy radyosetiamy. *Zviazok*, 2. 53–58.
3. Romaniuk, V. A. (2009). Arkhitektura systemy operatyvnoho upravlinnia taktychnymy radiomerezhamy. *Zbirnyk naukovykh prats VITI NTUU „KPI”*, 3. 70–76.
4. Romaniuk, V. A. (2003). Mobyl'nie radyosety – perspektyvi besprovodnikh tekhnolohyi. *Sety y telekommunikatsyy*, 12. 62–68.
5. Voityshek, A. V. (2004). Osnovy metoda Monte – Karlo v alhorytmakh y zadachakh. *Chasty I-V. Novosybyrsk: Novosybyrskiyi Hosudarstvennyi unyversytet*, 198.
6. Maslova, N. O. (2008). Metod otsenky efektyvnosti system zashchyty ynformatsyonnykh system. *Yskusstvennii yntellekt. Moskva: MUT*. 253–264.
7. Kalynyna, V. N., & Pankyn V. F. (2002). Matematycheskaia statystyka. *Moskva: Drofa*, 336.
8. Shtoyer, R. (1992). Mnokhokryterialnaia optymizatsiya. *Moskva: Radyo y sviaz*, 504.
9. Lotov, A. V., Pospelova, Y. Y. (2008). Mnokhokryterialnye zadachy pryniatyia reshenyi. *Moskva: MAKS Press*. 197.
10. Podynovskiy, V. V., & Nohyn, V. D. (1982). Pareto-optymalnye resheniya mnokhokryterialnykh zadach. *Moskva: Nauka. Hlavnaia redaktsiya fizmat lyteratury*. 64.
11. Romaniuk, V. A., Sova, O. Ia., Zhuk, P. V., & Romaniuk, A. V. (2012). Kontseptsyia yerarkhicheskoho postroeniya yntellektualnykh system upravleniya taktycheskymy radyosetiamy klassa MANET. *Sbornyk tezysov dokladov y vystuplenyi uchastnykov KhKhII Mezhdunarodnoi Krymskoi konferentsii ["SVCh-tekhnika y telekommu-nykatsyonnie tekhnolohyy"]*, (KryMyKo). 265.
12. Salnyk, S. V. (2018). Metod intelektualnoi identyfikatsii parametriv trafika v mobilnykh radiomerezhakh viiskovoho pryznachennia. *Zbirnyk naukovykh prats Viiskovyi instytut telekomunikatsii ta informatyzatsii*. 3. 94–102.
13. Divitskiy, A. S., Salnyk, S. V., Hol, V. D., & Storchak, A. S. (2021). Metod identyfikatsii marshrutiv peredachi danykh v bezdrotovykh samoorhanizovanykh merezhakh spetsialnoho pryznachennia. *Zbirnyk naukovykh prats «Information technology and security» Institute of special communication and information NTUU “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic institute”*, 9(1). 111–123.
14. Salnyk, S. V. (2018). Metodyka intelektualnoho navchannia bazy znan pidsystemy upravlinnia potokiv danykh v mobilnykh radiomerezhakh viiskovoho pryznachennia. *Zbirnyk naukovykh prats Viiskovyi instytut telekomunikatsii ta informatyzatsii*. 4. 103–112.
15. Oleksenko, V. P., Salnyk, S. V., Salnyk, V. V., & Minochkin, A. I. (2017). Metod prohnozuvannia chasu perevantazhennia marshrutiv peredachi danykh v mobilnykh radiomerezhakh. *Zbirnyk naukovykh prats Viiskovyi instytut telekomunikatsii ta informatyzatsii*. 4. 84–90.
16. Divitskiy, A. S., Salnyk, S. V., Hol, V. D., Sydorkin, P. H., & Storchak, A. S. (2021).

- Rozrobka modeli pidsystemy prohnozuvannya zmin marshrutiv peredachi danykh v mobilnykh radiomerezhakh spetsialnoho pryznachennia. *Zhurnal "Skhidno-Yevropeiskyi zhurnal peredovykh tekhnologii"*. 3/9(111). 125–134.
17. Efanova, K. O., Bryhadyr, S. P., Salnyk, S. V. (2019). Metod hibrydnoi pobudovy marshrutiv peredachi danykh v telekomunikatsiinykh merezhakh spetsialnoho pryznachennia. *Naukovyi zhurnal "Suchasni informatsiini tekhnologii u sferi bezpeky ta oborony"*. *Natsionalnyi universytet oborony Ukrainy imeni Ivana Cherniakhivskoho*. 1(34). 161–166.
 18. Salnyk, V. V., Salnyk, S. V., Strela, T. S., & Oleksenko, V. P. (2017). Metod pidtrymky marshrutiv peredachi danykh v mobilnykh radiomerezhakh viiskovoho pryznachennia na osnovi nechitkoi lohiky. *Zbirnyk naukovykh prats «Nauka i tekhnika povitrianykh syl Zbroinykh Syl Ukrainy» Kharkivskiy Natsionalnyi universytet Povitrianykh Syl imeni I. Kozheduba*. 4(29). 60–68.
 19. Storchak, A. S. (2013). Model otsinky stanu zakhyshchenosti informatsii na osnovi kerovanykh bahatokrokovykh protsesiv pryiniattia rishennia. *Spetsialni telekomunikatsiini systemy ta zakhyst informatsii ISZZI NTUU KPI*. 2(24). 112–118.
 20. Salnyk, S. V., Storchak, A. S., & Herasimov, K. K. (2019). Analiz funktsionuvannya system upravlinnia derzhavnymy informatsiiny my resursamy. *Naukovo-tekhnichniy zhurnal Nauka i tekhnika Povitrianykh Syl Zbroinykh Syl Ukrainy*. 2(35). 47–54.
 21. Yarushkyna, N. H. (2004). Osnovi teoryi nechetkykh y hibrydnykh system. *Moskva: Fynansi y statystyka*, 320.
 22. Morozov, A. S. (2021). Modelyrovanye system y protsesov. Retrieved from: <http://studfile.net/preview/3073744>
 23. Alianakh, Y. N. (1988). Modelyrovanye vichyslytelnykh system. *Lenynhrad: Mashynostroenye*, 223.
 24. Holovko, V. A. (2001). Neironnye sety: obuchenye, orhanyzatsiya, pryomenenye. *Neirokompiuteri i yih pryomenenye: uchebnoe posobye*. *Moskva: Nauka*. 256.
 25. Yazov, Yu. K. (2006). Osnov metodolohyy kolychestvennoi otsenky zashchyschennosti y efektyvnosti zashchity informatsii v kompiuternykh systemakh. *Rostov-na-Donu: Severo-Kavkazskiy nauchnyi tsentr visshei shkoli*. 276.
 26. Zaentsev, Y. V. (1999). Neironnye sety: osnovnie modely. *Uchebnoe posobye k kursu Neironnye sety dlia studentov 5 kursa*. *Voronezh*. 76.
 27. Land, A. H., & Doig, A. G. (2012). An automatic method of solving discrete programming problems. *Econometrica*, 28(3), 497–520.

Одержано 15.04.2022