

А.В. Шишацький<sup>1</sup>, Н.В. Лукова-Чуйко<sup>2</sup>, П.В. Жук<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Центральний НДІ озброєння та військової техніки Збройних Сил України, Київ

<sup>2</sup>Київський національний університет ім. Тараса Шевченка, Київ

<sup>3</sup>Національний університет оборони України ім. І. Черняхівського, Київ

## АНАЛІЗ НАУКОВИХ І ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ З РОЗПОДІЛУ КАНАЛЬНИХ РЕСУРСІВ СИСТЕМ ВІЙСЬКОВОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ

В зазначеній статті авторами проведений аналіз існуючих наукових і технологічних рішень щодо розподілу каналних ресурсів систем військового радіозв'язку. В ході проведеного аналізу встановлено, що управління чергами потоків інформації в системах військового радіозв'язку є одним з можливих технологічних рішень щодо підвищення завадозахищеності систем військового радіозв'язку. В ході проведеного дослідження визначено, що існуючий науково-методичний апарат не задовольняє вимогам, що до нього висуваються, в зв'язку з тим, що він не здатний адаптуватися до умов динамічної сигнально-завадової обстановки в каналі зв'язку та має високу обчислювальну складність. В ході проведеного дослідження авторами зазначеної статті використані основні положення теорії зв'язку, теорії масового обслуговування, теорії маршрутизації та управління потоками, а також теорії графів. В ході проведеного дослідження встановлено, що сучасні системи військового радіозв'язку є складними системами, функціонування які мають забезпечувати якісний обмін різномірною інформацією між її вузлами, що з'єднані за допомогою відповідних каналів. Проведений аналіз показав, що мультисервісність, випадковий характер навантаження і динамічність процесів функціонування сучасних систем військового радіозв'язку, що істотно ускладнюють забезпечення ефективного розподілу обмежених каналних ресурсів. Для розробки методів розподілу каналних ресурсів доцільно використовувати апарат нечітких нейронних мереж, основними перевагами якого є здатність точного прогнозування вхідного навантаження і втрат пакетів, можливість автоматичного налаштування параметрів активного управління пакетними чергами та адекватної адаптації до динамічної зміни умов функціонування систем військового радіозв'язку. Отже, напрямком подальших досліджень слід вважати розробку методів та методик управління потоками в системах військового радіозв'язку на основі апарату нечітких нейронних мереж.

**Ключові слова:** теорія масового обслуговування, управління чергами, маршрутизація, системи масового обслуговування, сигнально-завадова обстановка, нечітка нейрона-мережа, обчислювальна складність.

### Вступ

Невід'ємною вимогою до систем військового радіозв'язку (СРЗ) є забезпечення заданої якості обслуговування (Quality of Service, QoS) в умовах апріорної невизначеності. Одним з можливих підходів підвищення якості обслуговування сучасних СРЗ є реалізація розподілу ресурсів каналних ресурсів. Від ефективності цього процесу залежить якість функціонування СРЗ в цілому.

Тому *метою зазначеної статті* є аналіз наукових і технологічних рішень з розподілу каналних ресурсів систем військового радіозв'язку.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Для оцінки якості обслуговування міжнародними рекомендаціями [1, 2] визначено ряд параметрів та їх конкретні значення для різних видів трафіку. До цих параметрів відносять:

- міжкінцева затримка;
- коливання затримки (джиттер);
- допустима величина втрат пакетів;

- величина пропускної спроможності.

Ефективним розподілом пропускної спроможності радіоканалу каналу є такий розподіл ресурсів, при якому забезпечується задана якість обслуговування з мінімальним використанням радіоресурсу.

Одним з найпростіших шляхів розподілу пропускної спроможності є використання пріоритетних черг, при якому певні класи пакетів одержують переваги в обслуговуванні [3]. Однак використання методів пріоритетного обслуговування може призвести до повної монополізації каналу пакетами найвищого пріоритету (найбільшої вартості), а пакети нижчих класів будуть обслуговуватись при цьому за залишковим принципом. Тому в чистому вигляді таку схему розподілу використовувати не рекомендується.

Значна кількість дисциплін, реалізованих у сучасних маршрутизаторах, ґрунтується на ідеалізованій моделі GPS [4]. Згідно з цією моделлю розділені на класи обслуговування потоки пакетів, відправляються до відповідних черг. У моделі GPS час є безперервним. В будь-який момент часу кожний клас потоків отримує частку пропускної спроможності каналу  $C_i$ , що визначається призначеною цьому

класу вагою  $\omega_i$  та кількістю активних класів обслуговування  $N$ :

$$C_i = C \cdot \omega_i C / \sum_{j=1}^N \omega_j C. \quad (1)$$

Активним вважають такий клас, пакети якого знаходяться в чергах маршрутизатора та потребують обслуговування. В процесі розподілу пропускної спроможності радіоканалу за моделлю GPS для будь-якого пакету  $k$ , що надходить до черги і маршрутизатору в момент часу  $a_{i,k}$ , обчислюється параметр  $F_{i,k}$ , тобто час закінчення обслуговування. Визначення цього параметра здійснюється із врахуванням бітової довжини пакету та величина пропускної спроможності каналу, що виділена для обслуговування пакетів даного класу. Згідно з моделлю GPS черги пакетів обслуговуються циклічно. Тривалість таких циклів не є постійною й визначається кількістю активних потоків  $N$ . Кількість циклів  $V(t)$ , що відбулись до часу  $t$  визначається з такого співвідношення:

$$\frac{dV(t)}{dt} = \frac{C}{N(t)}. \quad (2)$$

Якщо пакет  $k$  черги номер  $i$  має розмір  $L_{i,k}$ , то при швидкості один біт/цикл він буде обслуговуватися  $L_{i,k}$  циклів. Для обчислення параметру  $F_{i,k}$  для пакету  $k$ , який надходить до порожньої  $i$ -ї черги маршрутизатору в момент часу  $a_{i,k}$ , використовується такий вираз:

$$F_{i,k} = V(a_{i,k}) + L_{i,k}. \quad (3)$$

Якщо пакет надходить до непорожньої черги, що містить інший пакет, то обчислення величини  $F_{i,k}$  потрібно виконувати з урахуванням часу обслуговування цього пакету, тобто:

$$F_{i,k} = F_{i,k-1} + L_{i,k}. \quad (4)$$

Об'єднання двох останніх виразів дає загальну формулу для визначення параметру  $F_{i,k}$ :

$$F_{i,k} = \max\{F_{i,k}, V(a_{i,k})\} + L_{i,k}. \quad (5)$$

Розрахований за виразом (5) час завершення обслуговування лише приблизно дорівнює реальному значенню цієї величини, оскільки кількість активних черг є змінною. Визначений параметр  $F_{i,k}$  використовується для прийняття рішення про послідовність відправлення пакетів у канал. Алгоритм управління дисципліною обслуговування в межах кожного із циклів обслуговування здійснює процедуру сортування перших пакетів (Head of Line, HOL) усіх черг за параметром  $F_{i,k}$ . Для прийняття рішення про відправлення аналізуються тільки

HOL-пакети всіх наявних черг. Розглянута модель обслуговування має ряд властивостей:

- забезпечення гарантії пропускної спроможності для кожного із класів обслуговування пакетів та відсутність можливості впливу на гарантії інших класів;

- забезпечення принципу «справедливого розподілу ресурсів» для всіх наявних класів обслуговування;

- врахування розміру пакету  $L_{i,k}$  в процесі прийняття рішення про розподіл пропускної спроможності;

- забезпечення гарантії щодо затримки пакетів у чергах маршрутизатора;

- здійснення розподілу пропускної спроможності у відповідності до умови (2) з використанням адміністративно призначених статичних вагових коефіцієнтів.

При апроксимації серверу GPS, пакети обираються для відправлення у відповідності до значень часу завершення обслуговування. Значення цієї функції обчислюється для кожного пакету за допомогою алгоритму GPS в безперервному часі. Найбільшого поширення й практичної реалізації в сучасних маршрутизаторах набула дисципліна зваженого справедливого обслуговування (Weighted Fair Queue, WFQ) [5]. Для апроксимації GPS та прийняття рішення про розподіл пропускної спроможності за дисципліною WFQ обчислюється функція так званого віртуального часу. В процесі обслуговування пакетів різних класів згідно з WFQ розглядають такі події:

- 1) надходження пакету до певної черги;
- 2) відправлення пакету сервером GPS в канал.

Момент часу настання  $j$ -ої події позначимо  $t_j$ ,

тобто  $t_1 = 0$  є моментом надходження першого пакету. Для всіх  $j=2,3,..$  на інтервалі часу  $[t_{j-1}, t_j]$

кількість класів обслуговування є постійною величиною  $N$ . Значення функції віртуального часу  $V(t)$  для моментів, коли сервер є вільним, дорівнює нулю. Тоді, розглядаючи певний період зайнятості, який починається в момент часу  $t_1 = 0$ , значення функції віртуального часу визначається за виразами:

$$V(0) = 0; \quad (6)$$

$$V(t_{j-1} + \tau) = V(t_{j-1}) + \tau \sum_{i=1}^N w_i, \quad (7)$$

для  $\tau < t_j - t_{j-1}$ ,  $j = 2, 3$ .

Швидкість зміни цієї функції визначається її похідною:

$$\frac{dV(t_j + \tau)}{d\tau} = 1 / \sum_{i=1}^N w_i. \quad (8)$$

У відповідності до виразу (2) маємо:

$$C_i = w_i C \frac{dV(t_j + \tau)}{d\tau}. \quad (9)$$

Згідно з виразом (8) швидкість зміни параметру  $V(t)$  залежить від кількості активних класів протягом інтервалу часу та загальної пропускної спроможності каналу. Тому при постійній кількості активних класів протягом певного інтервалу часу величина  $V(t)$  є постійною та характеризує швидкість обслуговування пакетів одного класу. Параметр  $V(t)$  залежить від кількості активних класів. Тому пропускна спроможність, що надається  $i$ -му класу обслуговування протягом інтервалу часу тривалістю  $\tau$ , визначається вагою та кількістю активних класів. У системі розподілу, реалізованій із застосуванням умови (2), пропускна спроможність у найгіршому випадку (коли всі наявні класи є активними) буде розподілятися пропорційно статичним вагою, що присвоєні даним класам. Якщо хоча б один із потоків не є активним, пропускна спроможність будь-якого  $i$ -го класу буде збільшуватися пропорційно його ваговому коефіцієнту.

Припустимо, що  $k$ -й пакет прибуває до  $i$ -ї черги в момент часу  $a_{i,k}$ . Розмір даного пакету  $L_{i,k}$ . Віртуальний час початку та закінчення обслуговування позначимо  $S_{i,k}$  та  $F_{i,k}$  відповідно. Для всіх черг  $F_{i,0} = 0$ . Тоді значення функцій  $F_{i,k}$  та  $S_{i,k}$  визначаються за такими співвідношеннями:

$$S_{i,k} = \max\{F_{i,k-1}, V(a_{i,k})\}. \quad (10)$$

$$F_{i,k} = S_{i,k} + \frac{L_{i,k}}{w_i C}. \quad (11)$$

З прибуттям кожного нового пакету функція  $V(t)$  обчислюється знову, а для пакету розраховується функція  $F_{i,k}$ . HOL-пакети усіх активних черг відправляються в канал у порядку збільшення даної функції. Такий порядок відправки пакетів вимагає постійного відслідковування кількості активних черг, а з прибуттям кожного нового пакету здійснення перерахунку функції  $F_{i,k}$ . Окрім цього, у кожному циклі передавання необхідно здійснювати сортування HOL-пакетів за значенням  $F_{i,k}$ . Така процедура є досить складною при великій кількості класів. Однак результати показані в [6], дозволяють стверджувати, що механізми на базі WFQ з апроксимацією GPS дозволяють забезпечити розподіл ресурсів на низько- і високошвидкісних інтерфейсах. В [7–8] показано, що WFQ з досить високою точністю апроксимує роботу GPS.

Велика кількість робіт присвячена удосконаленню WFQ у частині апроксимації ідеалізованої

моделі. В роботах [9–13] рішення про порядок обслуговування приймається аналогічно WFQ, але здійснюється процес розрахунку функції віртуального часу. В роботі [14] рішення про обслуговування взагалі приймається на підставі функції віртуального часу початку обслуговування. Це спрощує процедуру прийняття рішення в процесі вибору пакету для обслуговування. Результатом такого напрямку досліджень стала розробка дисциплін Virtual Clock, WF2Q, WF2Q+ та ін.

У практично реалізованих механізмах управління дисципліною обслуговування, які моделюють сервер GPS, можна виокремити такі особливості:

– пакети розділяються на класи обслуговування і спрямовуються до відповідних черг;

– значення функції віртуального часу  $V(t)$  обчислюється після надходження кожного пакета;

– функція  $F_{i,k}$  обчислюється для кожного вхідного пакета, потім в порядку збільшення цієї функції обслуговуються HOL-пакети;

– в процесі обчислення значення функції віртуального часу закінчення обслуговування  $F_{i,k}$  для пакету, що надходить до черги, враховується статичний ваговий коефіцієнт  $w_i$ , який призначений пакетам цього класу;

– розподіл вільної пропускної спроможності між активними класами  $N$  має статичний характер і здійснюється у відповідності до їхніх вагових коефіцієнтів.

Таким чином, даний напрямок дозволяє реалізувати процес розподілу пропускної спроможності з забезпеченням принципу «справедливого розподілу ресурсів» та гарантіями щодо затримки та пропускної спроможності за статичною схемою.

Дисципліни, що ґрунтуються на зваженому циклічному обслуговуванні (Weighted Round Robin, WRR) також набули широкого практичного використання. Суть дисципліни WRR полягає в послідовному зверненні до активних черг для відправлення пакетів [14]. Пакети в межах однієї черги відправляються в порядку надходження. Кількість пакетів для відправки в канал з кожної активної черги в межах поточного циклу обслуговування визначається за призначеним цій черзі ваговим коефіцієнтом  $w_i$ . Цикл обслуговування – це інтервал часу, протягом якого здійснюється обслуговування всіх  $N$  активних черг. Ваговий коефіцієнт визначає частку процесорного часу (пропускної спроможності  $C$ ), яку необхідно виділити даній черзі в кожному циклі обслуговування. Сума всіх призначених вагових коефіцієнтів дорівнює одиниці, що відповідає всій пропускній спроможності каналу:

$$\sum_{i=1}^N w_i = 1. \quad (12)$$

Гарантована пропускна спроможність, що надається і -й черзі визначається за формулою:

$$C_i = w_i C. \quad (13)$$

Враховуючи, що кількість активних черг  $N$  та величина їх заповнення змінюються з часом, тривалість циклу обслуговування не є постійною величиною. Тому зменшення кількості активних черг протягом ділянки часу, що дорівнює максимальному циклу обслуговування, призведе до пропорційного збільшення пропускної спроможності інших класів.

Недоліком дисципліни WRR є неможливість забезпечити гарантії щодо пропускної спроможності та затримки пакетів, коли пакети мають різний розмір  $L_{i,k}$ . Для врахування розміру пакету в процесі розподілу пропускної спроможності запропоновано ряд підходів [15], результатом яких стала поява дисциплін Deficit Round Robin (DRR) та Modified Deficit Round Robin (MDRR).

В цих дисциплінах для прийняття рішення про відправлення пакету в межах кожного циклу обслуговування використовується спеціальний параметр – квант (частка) процесорного часу, який виділяється кожній з черг. Даний параметр є постійним та пропорційним ваговому коефіцієнту черги. При зверненні до і -ої черги, величина кванту порівнюється з часом необхідним для обслуговування  $k$ -го HOЛ-пакету з розміром  $L_{i,k}$ . Якщо величина кванту більша за час, потрібний для обслуговування даного пакету, то пакет обслуговується, а залишок часу переходить в новий цикл, в іншому випадку значення кванту зберігається та додається в наступному циклі.

Даний процес повторюється, доки значення кванту не буде достатнім для обслуговування даного пакету. Такі дисципліни знайшли практичне використання в наявних маршрутизаторах для IP-мереж, оскільки дозволяють забезпечити гарантії різних класів незважаючи на величину пакету.

Розглянуті вище дисципліни обслуговування, що ґрунтуються на використанні абсолютного пріоритету, зваженого циклічного звернення та моделюванні віртуального часу GPS, в тій чи іншій мірі, дозволяють забезпечити мультисервісність СПЗ з певним рівнем гарантій для різних класів трафіку в

процесі розподілу пропускної спроможності. Пропускна спроможність вихідного каналу розподіляється між активними класами пропорційно їх ваговим коефіцієнтам.

Отже, наявні методи розподілу пропускної спроможності каналів мають низьку адаптивність, що не дозволяє забезпечити ефективний розподіл пропускної спроможності.

Низька ефективність процесу розподілу ресурсів каналних ресурсів, в свою чергу, не дозволяє забезпечити якісну передачу інформаційних повідомлень та призводить до збільшення витрат, необхідних для передавання повідомлень в такій мережі. Перспективним напрямком підвищення ефективності процесу розподілу пропускної спроможності є врахування динаміки функціонування СПЗ у відповідних методах розподілу мережевих ресурсів.

## Висновки

Сучасні системи військового радіозв'язку є складними системами, функціонування яких має забезпечувати якісний обмін різномірною інформацією між її вузлами, що з'єднані за допомогою відповідних каналів.

Важливою складовою каналних ресурсів системи військового радіозв'язку є пропускна спроможність, що надається для передавання пакетів, та ємність буферної пам'яті вихідних інтерфейсів маршрутизаторів.

Проведений аналіз показав, що мультисервісність, випадковий характер навантаження і динамічність процесів функціонування сучасних СПЗ істотно ускладнюють забезпечення ефективного розподілу обмежених каналних ресурсів.

Для розробки методів розподілу каналних ресурсів доцільно використовувати апарат нечітких нейронних мереж, основними перевагами яких є здатність точного прогнозування вхідного навантаження і втрат пакетів, можливість автоматичного налаштування параметрів активного управління пакетними чергами та адекватної адаптації до динамічної зміни умов функціонування СПЗ.

Тому, **напрямок подальших досліджень** слід вважати розробку методів та методик управління потоками в системах військового радіозв'язку на основі апарату нечітких нейронних мереж.

## Список літератури

1. ITU-T Y.1540. Internet protocol data communication service – IP packet transfer and availability performance parameters, 2007. – 42 p.
2. ITU-T Y.1541. Network Performance Objectives for IP-Based Services, 2011. – 57 p.
3. Ferrari T. A measurement-based analysis of expedited forwarding PHB mechanisms / T. Ferrari, P. Chimento // IWQoS'00, June 2000. – Pittsburgh.
4. Parekh A.K. A generalized processor sharing approach to flow control in integrated services networks: The single node case. / A.K. Parekh, R.G. Gallager // IEEE/ACM Transactions on Networking, Jun 1993. – 1(3). – P. 344-357.
5. Francini A. A weighted fair queueing scheduler with decoupled bandwidth and delay guarantees for the support of voice traffic / A. Francini, F. Chiussi // Proceedings of the GLOBECOM '01. IEEE, 2001. – Vol. 3.

6. A scalable packet sorting circuit for high-speed WFQ packet scheduling / K. McLaughlin, S. Sezer, H. Blume, X. Yang, F. Kupzog, T. Noll // *IEEE Transactions on VLSI Systems* 16 (7), 2008. – P. 781-791.
7. Bennett J.C.R. W2FQ: Worst-case fair weighted fair queueing / J.C.R. Bennett, H. Zhang // *Proceedings of the IEEE INFOCOM*, 1996. – P. 120-128.
8. Parekh A.K. A generalized processor sharing approach to flow control in integrated services networks: The multiple node case / A.K. Parekh, R.G. Gallager // *IEEE/ACM Transactions On Networking*, 1994. – Vol. 2, Number 2. – P. 137-150.
9. Demers A. Analysis and simulation of a fair queueing algorithm / A. Demers, S. Keshav, S. Shenkar // *Internetworking: Research and Experience*, Sep 1990. – P. 3-26.
10. Golestani S.J. A self-clocked fair queueing scheme for broadband applications. / S.J. Golestani // *Proceedings of the INFOCOM*, Jun 1994. – P. 636-646.
11. Lee J.F. WF2Q-M: Worst-case fair weighted fair queueing with maximum rate control / J.F. Lee, M.C. Chen, Y. Sun // *Computer Networks*, 2007. – Vol. 51, Number 6. – P. 1403-1420.
12. Rouskas G.N. A practical and efficient implementation of WF2Q+ / G.N. Rouskas, Z. Dwekat // *Proceedings of the IEEE International Conference on Communications, ICC '07*, 2007. – P. 172-176.
13. Goyal P. Start-time fair queueing: a scheduling algorithm for integrated services packet switching networks / P. Goyal, H. Chen, H. Vin // *SIGCOMM*, Aug 1996. – P. 157-168.
14. Katevenis M. Weighted round-robin cell multiplexing in a general-purpose ATM switch chip / M. Katevenis, S. Sidiropoulos, C. Courcoubetis // *IEEE Journal on selected Areas in communications*, 9(8), Oct 1991. – P. 1265-1279.
15. Shreedhar M. Efficient fair queueing using deficit round robin / M. Shreedhar, G. Varghese // *IEEE/ACM Transactions on Networking*, Jun 1996. – Vol. 4(3). – P. 375-385.

## References

1. ITU-T Y.1540 (2007), *Internet protocol data communication service – IP packet transfer and availability performance parameters*, 42 p.
2. ITU-T Y.1541 (2011), *Network Performance Objectives for IP-Based Services*, 57 p.
3. Ferrari, T. and Chimento, P.(2000), “A measurement-based analysis of expedited forwarding PHB mechanisms”, *IWQoS'00*, June 2000, Pittsburgh.
4. Parekh, A.K. and Gallager, R.G. (1993), “A generalized processor sharing approach to flow control in integrated services networks: The single node case”, *IEEE/ACM Transactions on Networking*, Jun 1993, 1(3), pp. 344-357.
5. Francini, A. and Chiussi F. (2001), “A weighted fair queueing scheduler with decoupled bandwidth and delay guarantees for the support of voice traffic”, *Proceedings of the GLOBECOM '01. IEEE*, Vol. 3.
6. McLaughlin, K., Sezer, S., Blume, H., Yang, X., Kupzog, F. and Noll T. (2008), “A scalable packet sorting circuit for high-speed WFQ packet scheduling”, *IEEE Transactions on VLSI Systems*, 16 (7), pp. 781-791.
7. Bennett, J.C.R. and Zhang, H. (1996), “W2FQ: Worst-case fair weighted fair queueing”, *Proceedings of the IEEE INFOCOM*, pp. 120-128.
8. Parekh, A.K. and Gallager R.G. (1994), “A generalized processor sharing approach to flow control in integrated services networks: The multiple node case”, *IEEE/ACM Transactions On Networking*, Vol. 2, No. 2, pp. 137-150.
9. Demers, A., Keshav, S. and Shenkar, S. (2007), “Analysis and simulation of a fair queueing algorithm”, *Internetworking: Research and Experience*, Sep 1990. pp. 3-26.
10. Golestani, S.J. (1994), “A self-clocked fair queueing scheme for broadband applications”, *Proceedings of the INFOCOM*, Jun 1994, pp. 636-646.
11. Lee, J.F., Chen, M.C. and Sun, Y. (2007), WF2Q-M: “Worst-case fair weighted fair queueing with maximum rate control”, *Computer Networks*, Vol. 51, No. 6, pp. 1403-1420.
12. Rouskas, G.N. and Dwekat, Z. (2007), “A practical and efficient implementation of WF2Q+”, *Proceedings of the IEEE International Conference on Communications, ICC'07*, pp. 172-176.
13. Goyal, P., Chen, H. and Vin, H. (1996), “Start-time fair queueing: a scheduling algorithm for integrated services packet switching networks”, *SIGCOMM*, Aug 1996, pp. 157-168.
14. Katevenis, M., Sidiropoulos, S. and Courcoubetis, C. (1991), “Weighted round-robin cell multiplexing in a general-purpose ATM switch chip”, *IEEE Journal on selected Areas in communications*, 9(8), Oct 1991, pp. 1265-1279.
15. Shreedhar, M. and Varghese, G. (1996), “Efficient fair queueing using deficit round robin”, *IEEE/ACM Transactions on Networking*, Jun 1996, Vol. 4(3), pp. 375-385.

Надійшла до редколегії 2.02.2018

Схвалена до друку 6.03.2018

### Відомості про авторів:

**Шишацький Андрій Володимирович**  
кандидат технічних наук,  
науковий співробітник Центрального  
науково-дослідного інституту озброєння  
та військової техніки Збройних Сил України,  
Київ, Україна  
<https://orcid.org/000-0001-6731-6390>  
e-mail: ierikon12@gmail.com

### Information about the authors:

**Andrii Shyshatskyi**  
Candidate of Technical Sciences  
Research Associate of Central scientifically-explore  
institute of arming and military equipment  
of the Armed Forces of Ukraine,  
Kiev, Ukraine  
<https://orcid.org/000-0001-6731-6390>  
e-mail: ierikon12@gmail.com

**Лукова-Чуйко Наталія Вікторівна**  
кандидат фізико-математичних наук,  
доцент  
доцент кафедри кібербезпеки та захисту інформації  
факультету інформаційних технологій  
Київського національного університету  
імені Тараса Шевченка,  
Київ, Україна  
<http://orcid.org/0000-0003-3224-4061>  
e-mail: lukova@ukr.net

**Natalia Lukova-Chuiko**  
Candidate of Physics and Mathematics,  
Associate Professor  
Associate Professor of the Department of Cybersecurity  
and Information Protection at the Faculty  
of Information Technologies of the Kyiv National  
Taras Shevchenko University,  
Kyiv, Ukraine  
<http://orcid.org/0000-0003-3224-4061>  
e-mail: lukova@ukr.net

**Жук Павло Васильович**  
кандидат технічних наук, доцент  
слухач інституту державного військового управління  
Національного університету оборони України  
імені Івана Черняхівського,  
Київ, Україна  
<http://orcid.org/0000-0002-9628-8074>  
e-mail: juk2011@ukr.net

**Zhuk Pavlo Vasylovych**  
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor  
student of the Institute of State Military Management  
of the National Defense University of Ukraine named  
after Ivan Chernyakhovsky,  
Kyiv, Ukraine  
<http://orcid.org/0000-0002-9628-8074>  
e-mail: juk2011@ukr.net

### АНАЛИЗ НАУЧНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО РАСПРЕДЕЛЕНИЮ КАНАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ СИСТЕМ ВОЕННОЙ РАДИОСВЯЗИ

А.В. Шишацкий, Н.В. Лукова-Чуйко, П.В. Жук

*В указанной статье авторами проведён анализ существующих научных и технологических решений по распределению каналных ресурсов систем военной радиосвязи. В ходе проведенного анализа установлено, что управление очередями потоков информации в системах военной радиосвязи является одним из возможных технологических решений по повышению помехозащищённости систем военной радиосвязи. В ходе проведенного исследования установлено, что существующий научно-методический аппарат не удовлетворяет требованиям, которые к нему предъявляются, в связи с тем, что он не способен адаптироваться к условиям динамической сигнално-помеховой обстановки в канале связи и имеет высокую вычислительную сложность. В ходе проведенного исследования авторами указанной статьи использованы основные положения теории связи, теории массового обслуживания, теории маршрутизации и управления потоками, а также теории графов. В ходе проведенного исследования установлено, что современные системы военной радиосвязи являются сложными системами, функционирование которых должно обеспечивать качественный обмен разнородной информацией между ее узлами, которые соединены с помощью соответствующих каналов. Проведенный анализ показал, что мультисервисность имеет случайный характер нагрузки и динамичность процессов функционирования современных систем военной радиосвязи. существенно затрудняют обеспечение эффективного распределения ограниченных каналных ресурсов. Для разработки методов распределения каналных ресурсов целесообразно использовать аппарат нечетких нейронных сетей, основными преимуществами которого является способность точного прогнозирования входящего нагрузки и потерь пакетов, возможность автоматической настройки параметров активного управления пакетными очередями и адекватной адаптации к динамическому изменению условий функционирования систем военного радиосвязи. Итак, направлением дальнейших исследований следует считать разработку методов и методик управления потоками в системах военной радиосвязи на основе аппарата нечетких нейронных сетей.*

**Ключевые слова:** теория массового обслуживания, управления очередями, маршрутизация, системы массового обслуживания, сигнално-помеховая обстановка, нечеткая нейрона сеть, вычислительная сложность.

### ANALYSIS OF SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS OF CHANNEL RESOURCES DISTRIBUTION OF MILITARY RADIO COMMUNICATION SYSTEMS

A. Shyshatskyi, N. Lukova-Chuiko, P. Zhuk

*In the specified article, the authors carried out an analysis of existing scientific and technological decisions regarding the distribution of channel resources of military radiocommunication systems. In the course of the analysis, it was established, that the management of the queues of information flows in military radiocommunication systems is one of the possible technological solutions to increase the noise immunity of military radiocommunication systems. In the course of the research, it was determined, that the existing scientific-methodical apparatus does not satisfy the requirements put forward to it, due to the fact, that it is not able to adapt to the conditions of the dynamic signal-interference situation in the communication channel and has a high computational complexity. In the course of the study, the authors of this article used the basic provisions of the theory of communication, theory of mass service, the theory of routing and flow management, as well as the theory of graphs. In the course of the research, it was established, that modern systems of military radio communication are complex systems, the functioning of which should provide a high-quality exchange of heterogeneous information between its nodes connected through the appropriate channels. The analysis showed, that multiservice, the casual nature of the load and the dynamism of the functioning of modern systems of military radiocommunication significantly complicate the provision of efficient allocation of limited channel resources. It is expedient to use the fuzzy neural network apparatus to develop channel resource allocation methods, the main advantages of which are the ability to accurately predict the input load and packet loss, the ability to automatically adjust the parameters of active packet queue management and adequately adapt to the dynamic change in the conditions of the operation of military radio communication systems. Thus, the direction of further research should be considered the development of methods and methods for managing flows in the systems of military radio communication on the basis of the apparatus of fuzzy neural networks.*

**Keywords:** mass service theory, queue management, routing, mass maintenance systems, signaling and interfering environment, fuzzy neural network, computational complexity.