

УДК: 004.7.032.26

О. О. Семенова, А. О. Семенов, О. О. Войцеховська  
**ЗАСТОСУВАННЯ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ  
 У ПРОЦЕДУРІ ВЕРТИКАЛЬНОГО ХЕНДОВЕРУ**

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

**Анотація.** Розгортання сучасних гетерогенних мереж, де передаються різні типи трафіку із мобільних станцій, котрі рухаються із досить високою швидкістю, призвело до підвищення вимог до якості операції вертикального хендверу. Процедура передачі обслуговування, або хендвер, є ключовим механізмом, що дозволяє рухомим абонентам безшовно пересуватися по мережі. При цьому, через вплив великої кількості параметрів та характеристик мережі, традиційні схеми прийняття рішень, які працюють із врахуванням тільки одного критерію є неефективними. Тому постає задача розроблення такого механізму хендверу, що враховував би декілька параметрів та давав змогу здійснювати інтелектуальний хендвер. Однією з перспективних галузей сучасної техніки є штучні нейронні мережі. Важливою властивістю нейронних мереж є паралельне оброблення інформації великою кількістю нейронів одночасно. Типовими задачами, котрі можна розв'язати за допомогою нейронних мереж є: керування, кодування та декодування інформації, класифікація, прогнозування, автоматизація процесу ухвалення рішень, розпізнавання образів тощо. Нейронні мережі застосовуються у системах безпроводного зв'язку при розв'язанні таких задач: контроль доступу, передача обслуговування, розподіл каналів, прогнозування трафіку, адаптивна маршрутизація, прогнозування характеристик поширення сигналу, визначення місцезнаходження мобільної станції. У роботі запропоновано використовувати нейронну мережу у інтелектуальному алгоритмі багатокритеріального вертикального хендверу. Після створення програмного або апаратного рішення нейронної мережі необхідно створити математичну модель та виконати навчання мережі. Пропонована у даній роботі нейронна мережа представляє собою багатослойний перцептрон. Проведено моделювання роботи нейронної мережі у програмі Matlab.

**Ключові слова:** безпроводний зв'язок, хендвер, нейронна мережа.

**Аннотация.** Развертывание современных гетерогенных сетей, в которых передается трафик разных типов от мобильных станций, движущихся с достаточно высокой скоростью, привело к повышению требований к качеству операции вертикального хэндовера. Процедура передачи обслуживания или хэндовер – это ключевой механизм, благодаря которому абоненты могут бесшовно передвигаться по сети. При этом, из-за влияния большого количества параметров и характеристик сети, традиционные схемы принятия решений, работающие с учетом только одного критерия, являются неэффективными. Поэтому возникает задача разработки такого механизма хэндовера, который учитывал бы несколько параметров и реализовывал операцию интеллектуального хэндовера. Одной из перспективных отраслей современной техники являются искусственные нейронные сети. Важным свойством нейронных сетей является возможность параллельной обработки информации большим количеством нейронов одновременно. Типичные задачи, которые решаются с помощью нейронных сетей – это: управление, кодирование и декодирование информации, классификация, прогнозирование, автоматизация процесса принятия решений, распознавание образов и тому подобное. Нейронные сети применяются в системах беспроводной связи при решении следующих задач: контроль доступа, передача обслуживания, распределение каналов, прогнозирование трафика, адаптивная маршрутизация, прогнозирование характеристик распространения сигнала, определение местоположения мобильных станций. В работе предложено использовать нейронную сеть в интеллектуальном алгоритме многокритериального вертикального хэндовера. После создания программного или аппаратного решения нейронной сети необходимо создать математическую модель и обучить сеть. Предлагаемая в данной работе нейронная сеть представляет собой многослойный перцептрон. Проведено моделирование работы нейронной сети в программе Matlab.

**Ключевые слова.** беспроводная связь, хэндовер, нейронная сеть.

**Abstract.** The deployment of modern heterogeneous networks transmitting different types of traffic from mobile stations, which move at a quite high speed, has led to increased requirements for the quality of vertical handover operation. The handover procedure or handover is a key mechanism that allows mobile subscribers to move seamlessly across the network. At the same time, due to the influence of a large number of parameters and characteristics of the network, traditional decision-making schemes that work with only one criterion are ineffective. Therefore, there is a task to develop a handover mechanism taking into account several parameters and providing the intelligent handover. One of the promising fields of modern technology is artificial neural networks. An important feature of neural networks is the parallel processing of information by a large number of neurons at the same time. Typical tasks that can be solved using neural networks are: control, encoding and decoding of information, classification, forecasting, automation of a decision-making process, pattern recognition and more. Neural networks are used in wireless communication systems to solve the following tasks: access control, handover, channel allocation, traffic forecasting, adaptive routing, signal propagation prediction, mobile station location. The paper proposes to utilize a neural network in the intelligent algorithm of multicriterial vertical handover. After creating a software or hardware solution for the neural network, a mathematical model must be created and the network training must be performed. The neural network proposed in this paper is a multilayer perceptron. Simulation of the neural network operation in Matlab program was performed.

**Key words:** wireless communication, handover, neural network

**DOI:** <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2020-49-3-14-21>.

### Вступ

Через стрімкий розвиток систем безпроводного зв'язку та їх широке впровадження на одній території можуть функціонувати одразу декілька мереж зв'язку, обслуговуючи при цьому велику кількість користувачів одночасно. В той же час, забезпечення показників якості обслуговування користувачів визначається технічними характеристиками системи та параметрами навантаження у ній. При цьому, за наявності декількох мереж безпроводного зв'язку при можливому їх одночасному використанні основною проблемою для належного обслуговування користувача є реалізація оптимального алгоритму швидкого та плавного перемикання між різними мережами, тобто здійснення процедури вертикального хендверу. Хендвер представляє собою процес передачі управління з'єднанням від однієї базової станції до іншої [1]. Якщо відбувається передача обслуговування абонента між сусідніми стільниками однієї без-

провідної мережі, то хендовер називається горизонтальним. У випадку передачі обслуговування абонента між різними сегментами гетерогенних мереж, побудованими за різними безпровідними технологіями, хендовер називається вертикальним [2].

### Актуальність

У процедурі вертикального хендоверу найбільш складною задачею є мінімізація втрат переданих даних і скорочення часу переривання зв'язку. Всі алгоритми вертикального хендовера можна класифікувати за використовуваними критеріями прийняття рішень та методами оброблення цих критеріїв [3]:

1) У алгоритмах на основі рівня потужності сигналу (RSSI) головним критерієм вибору мережі є величина потужності сигналу. При цьому значення RSSI нової мережі порівнюється із відповідним параметром поточної мережі. Це найпростіший спосіб здійснення хендоверу, але його недоліком є незбалансованість навантаження і можливість переривання зв'язку.

2) У алгоритмах на основі величини пропускної здатності головним критерієм вибору мережі є величина пропускної здатності нової мережі. Недоліком є додаткова затримка у процесі збору інформації.

3) У алгоритмах на основі витрат головним критерієм вибору мережі є вартість нової мережі. Недоліком є висока складність.

Розглянуті традиційні схеми прийняття рішення на основі одного лише критерію мають невисоку ефективність через неоднорідності параметрів та характеристик мережі безпровідного зв'язку.

### Мета

Таким чином, метою даної роботи є підвищення ефективності функціонування гетерогенних мереж безпровідного зв'язку шляхом розроблення багатокритеріального алгоритму прийняття рішення стосовно здійснення вертикального хендовера.

### Задачі

1. Визначити критерії для прийняття рішення стосовно здійснення хендоверу.
2. Розробити структурну схему пристрою, що формує рішення стосовно здійснення хендовера.
3. Промоделювати роботу запропонованого пристрою.

### Алгоритм вертикального хендоверу

Процедура хендовера може бути ініційована за таких умов: вихід за межі зони покриття безпровідної мережі, можливості покращення показників якості обслуговування, при зміні пріоритетів абонента.

Процедура вертикального хендовера складається із трьох етапів: ініціалізації, прийняття рішення, здійснення операції хендовера [4]. На першому етапі визначаються наявні мережі та збирається інформація, необхідна для прийняття рішення відносно ініціалізації хендовера – навантаження у мережах, наявність вільних каналів, швидкість руху мобільного абонента, рівень потужності сигналу, пріоритет тощо. Вхідними даними можуть бути такі: параметри абонента (переваги, бюджет, місцезнаходження, швидкість пересування), параметри мережі (якість обслуговування, завантаженість, безпека, вартість), параметри каналу зв'язку (рівень потужності сигналу, співвідношення сигнал/шум, рівень бітових помилок, затримка), параметри мобільної станції (споживана потужність, рівень заряду акумулятора). На етапі прийняття рішення визначається момент для здійснення хендовера та мережа, куди буде переключено мобільну станцію. Також тут відбувається оброблення вхідних параметрів та їх агрегація у критерій для вибору мережі призначення. На етапі здійснення хендовера відбувається безпосередня передача сеансу зв'язку на обрану мережу.

При прийнятті рішення потрібно визначити найкращу мережу доступу та прийняти рішення в конкретний момент часу – здійснювати передачу обслуговування чи ні. При цьому, однією з головних задач є правильний вибір мережі. У деяких випадках мобільний абонент може рухатися досить швидко, тому алгоритми, що забезпечують етап прийняття рішення, також повинні бути швидкими і видати рішення, близьке до реального часу [5]. Взагалі, мобільність є ключовим фактором для повсюдного доступу до мережі. З іншого боку, деякі алгоритми прийняття рішення обробляють багато параметрів, до яких відносяться вимоги до якості обслуговування або точності прийнятих рішень, що передбачає велику кількість математичних обчислень. Тому постає необхідність пошуку компромісу між великою обчислювальною потужністю та обмеженим часом на прийняття рішення відгуку, особливо з урахуванням того факту, що багато мобільних пристроїв оснащені низькопродуктивними процесорами.

Існуючі алгоритми прийняття рішення стосовно здійснення хендоверу можна розділити на два класи за способом обробки вхідних параметрів – математичний та інтелектуальний, причому інтелектуальні алгоритми обробляють більшу кількість вхідних параметрів, ніж математичні [6].

Інтелектуальні методи оброблення параметрів найчастіше базуються на нечітких контролерах, нейронних мережах, генетичних алгоритмах. Застосування схеми хендоверу на основі нечіткого контролера дозволяє обробляти результати неточних вимірювань, що добре підходить для особливостей безпровідного зв'язку [7]. Застосування схеми хендоверу на основі нейронних мереж дозволяє обрати

найкращу доступну безпроводну мережу спираючись на налаштування абонента, можливості пристрою та функції мережі [8]. Застосування схем хендоверу на основі генетичних алгоритмів дозволяє оцінити ймовірності успішної передачі у гетерогенних мережах, що призводить до збільшення продуктивності мережі [9].

Таким чином, підвищити ефективність та якість систем безпроводного зв'язку можна шляхом застосування інтелектуальних алгоритмів у процедурі вертикального хендовера. Оскільки у порівнянні із нечіткими контролерами та генетичними алгоритмами штучні нейронні мережі здатні швидко обробляти великий обсяг даних [10], пропонується розробити інтелектуальний алгоритм прийняття рішення стосовно вертикального хендоверу на базі нейронної мережі.

Пропонований алгоритм інтелектуального хендоверу подано на рис.1.

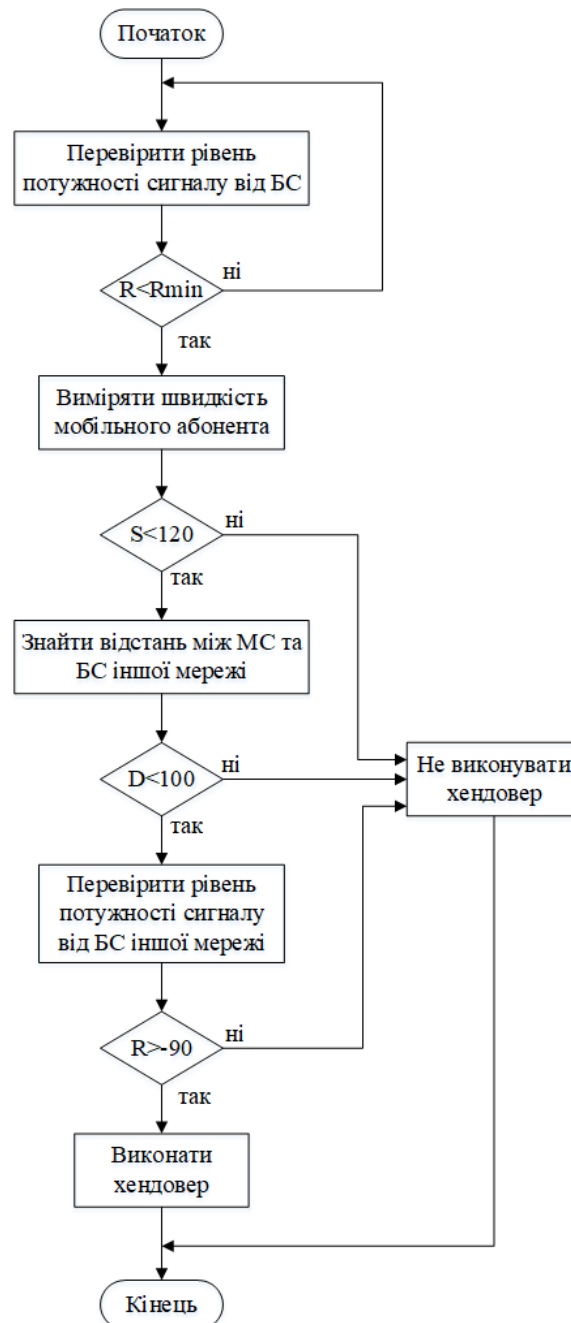


Рисунок 1 – Алгоритм інтелектуального хендоверу

### Нейронна мережа

Розробка схеми прийняття рішення стосовно операції хендвера на базі нейронної мережі складається із таких етапів:

- вибирається структура нейронної мережі і алгоритм її навчання;
- виконується навчання нейронної мережі на основі зібраних даних;
- навчена нейронна мережа тестується, перевіряється адекватність отриманих оцінок.

Зазвичай для розв'язання подібних задач застосовують нейронні мережі, які відносяться до класу універсальних апроксиматорів, це радіально-базисна мережа та багатошаровий перцептрон.

У якості вхідних величин нейронної мережі пропонується використати такі три параметри безпровідної мережі із зазначеними діапазонами можливих значень:

- рівень потужності сигналу (-90...-40дБм);
- відстань між мобільною станцією та базовою станцією або точкою доступу (0...100м);
- швидкість руху мобільного абонента (0...120км/год).

Окрім того, можна застосовувати такі додаткові параметри як доступна смуга частот, безпечність зв'язку, вартість, енергоспоживання.

Пропонована нейронна мережа (рис. 2) представляє собою багатошаровий перцептрон. Вхідний шар складається з трьох нейронів  $x_i$ ,  $i=1...3$ . Прихований шар складається з дев'яти нейронів  $y_j$ ,  $j=1...9$ . Вихідний шар складається з одного нейрону  $z$ . Вхідні та приховані нейрони з'єднані синапсами із ваговими коефіцієнтами  $w_{ij}$ , приховані та вихідні нейрони з'єднані синапсами із ваговими коефіцієнтами  $v_{jn}$ . На входи нейронів вхідного шару надходять такі сигнали:  $R$  – значення рівня потужності сигналу від нової базової станції, на яку планується переключити мобільного абонента,  $D$  – відстань від мобільного абонента до нової базової станції,  $S$  – швидкість руху мобільного абонента. Кожен вхідний нейрон  $x_i$  передає отримане значення, помножене із відповідним ваговим коефіцієнтом, всім нейронам прихованого шару.

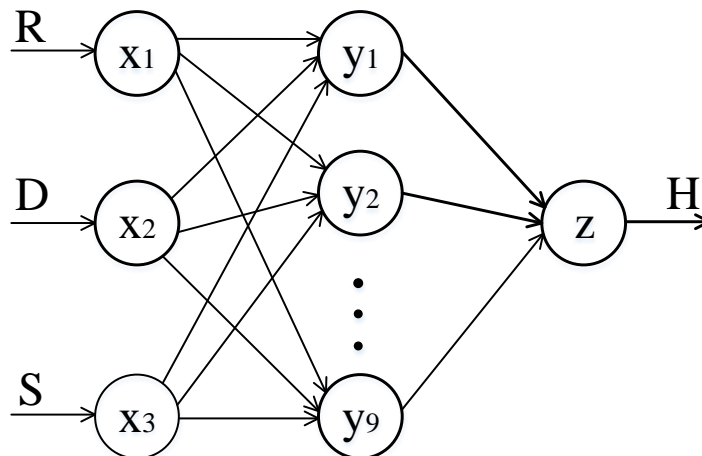


Рисунок 2 – Нейронна мережа

### Моделювання

Роботу розробленої нейронної мережі було промодельовано у програмі Matlab. На рис. 3 подано вікно процесу навчання розробленої нейронної мережі згідно обраних вхідних даних. Як видно з графіку похибки навчання (рис.4.), навчання є успішним. На рис. 5 подано графік регресії, з якого видно хорошу кореляцію між вхідними та очікуваними значеннями.

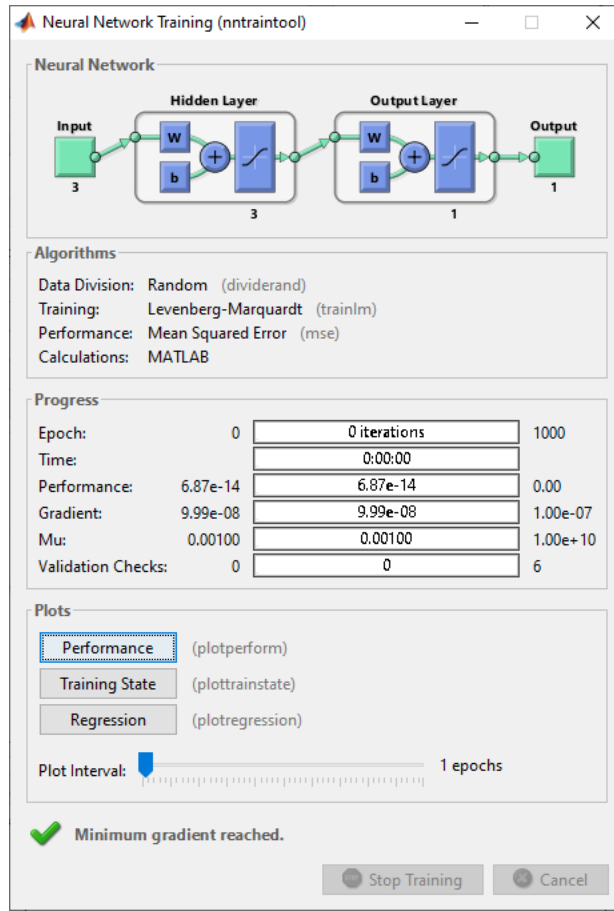


Рисунок 3 – Процес навчання мережі

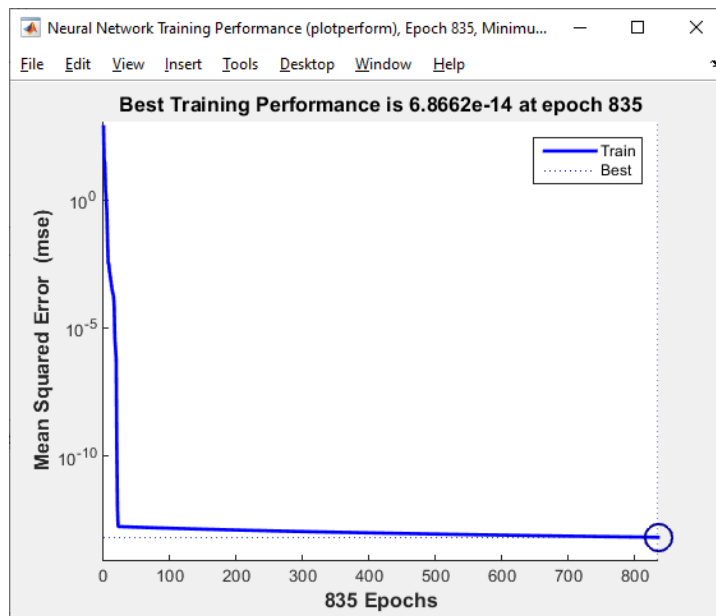


Рисунок 4 – Графік похибки навчання

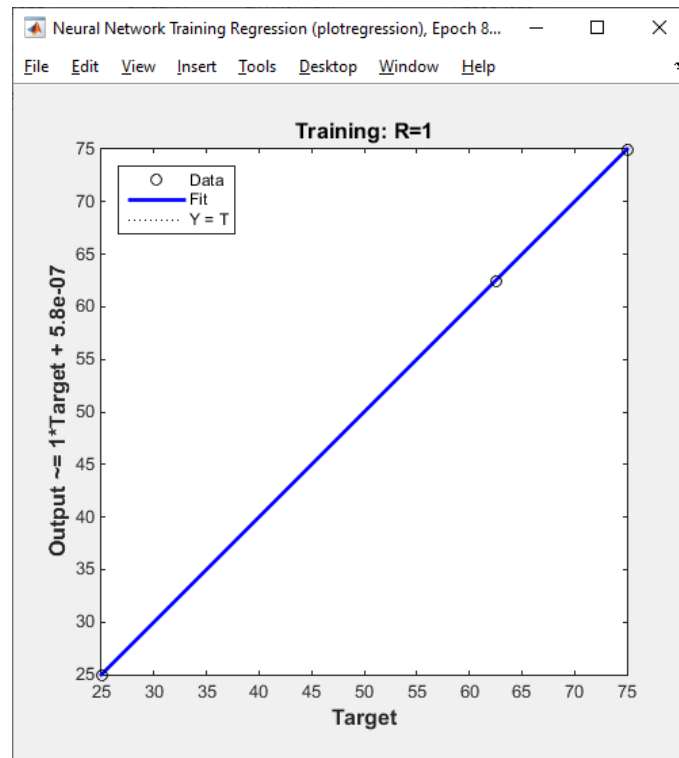


Рисунок 5 – Графік регресії

### Висновки

1. У роботі запропоновано алгоритм прийняття рішення стосовно здійснення інтелектуального вертикального хендвера на базі нейронної мережі, який можна використовувати у гетерогенних безпроводних мережах для покращення ефективності їх роботи шляхом оптимізації процедури вертикального хендвера.
2. Обґрунтовано архітектуру нейронної мережі.
3. Проведено моделювання у програмі Matlab.

### Список літератури

- [1] A. M. Aibinu, A. J. Onumanyi, A. P. Adedigba, M. Ipinoyomi, T. A. Folorunso, M. J. E. Salami, «Development of hybrid artificial intelligent based handover decision algorithm», *Engineering Science and Technology an International Journal*, V. 20(2), pp. 381–390, February. 2017. doi: 10.1016/j.jestch.2017.01.005.
- [2] А. Р. Масюк, І. Б. Стрихалюк, М. В. Брич, І. О. Кагало, Г. В. Бешлей, «Алгоритм інтелектуального вертикального хендверу в гетерогенній мобільній мережі на основі хмарних обчислень», *Вісн. Нац. ун-ту «Львів. Політехніка»*. № 874, с. 110–121, 2017.
- [3] Р. А. Кирюшкин, В. В. Курдеча, «Мультикритеріальний метод вертикального хендвера», *Збірник матеріалів Міжнародної науково-технічної конференції. Перспективи телекомунікації*, Київ, 2016.
- [4] Ionut Bosoanca, Anca Vargatu, «An Overview of Vertical Handoff Decision Algorithms in NGWNs and a new Scheme for Providing Optimized Performance in Heterogeneous Wireless Networks», *Informatica Economica*, V. 15(1), pp. 5–21, 2011.
- [5] Shidrokh Goudarzi, Wan Haslina Hassan, Seyed Ahmad Soleymani, Mohammad Hossein Anisi, «Hybridisation of genetic algorithm with simulated annealing for vertical-handover in heterogeneous wireless networks», *International Journal of Ad Hoc and Ubiquitous Computing*, V. 24, N. 1/2, pp. 4–21, January. 2017.
- [6] А. Д. Гришаева, В. Я. Воропаева, «Выбор параметров и разработка критерия оптимизации для процедуры вертикального хендвера», *Збірник наукових праць XIII Міжнародної науково-технічної конференції аспірантів і студентів. Автоматизація технологічних об'єктів та процесів. Пошук молодих*, Донецьк, 2013, с. 39–41.

- [7] M. T. Islam et al., «Vertical handover decision using fuzzy logic in a heterogeneous environment», in *2013 International Conference on Informatics, Electronics and Vision (ICIEV)*, Dhaka, 2013, pp. 1–3. doi: 10.1109/ICIEV.2013.6572621.
- [8] Mahmood Adnan, Hushairi Zen, Al-Khalid Othman, «Vertical Handover Decision Processes for Fourth Generation Heterogeneous Wireless Networks», *Asian Journal of Applied Sciences*, V. 1, Is. 5, pp. 229–235, December. 2013.
- [9] M. Saravanan, A. Prithiviraj, «Genetic based approach to Optimize the Vertical Handover performance among Heterogeneous Network», in *Proceedings of the International Conference on Intelligent Computing Systems (ICICS 2017)*, Salem, India, 2017, pp. 80–84.
- [10] Saeed Alsamhi, Navin Rajput, «Neural Network in Intelligent Handoff for QoS in HAP and Terrestrial Systems», *International Journal of Materials Science and Engineering*, V. 2(2), pp.141–146, December. 2014. doi: 10.12720/ijmse.2.2.141–146.

Стаття надійшла: 14.11.2020.

#### References

- [1] M. Aibinu, A. J. Onumanyi, A. P. Adedigba, M. Ipinoyomi, T. A. Folorunso, M. J. E. Salami, «Development of hybrid artificial intelligent based handover decision algorithm», *Engineering Science and Technology an International Journal*, V. 20(2), pp. 381–390, February. 2017. doi: 10.1016/j.jestch.2017.01.005.
- [2] R. Masyuk, I. B. Strykhalyuk, M. V. Brych, I. O. Kahalo, H. V. Beshley, «Alhorytm intelektualnoho vertykalnoho khendoveru v heterohenniy mobilniy mrezhi na osnovi khmarnykh obchyslen», *Visn. Nats. un-tu «Lviv. Politekhnik»*. № 874, s. 110–121, 2017.
- [3] R. A. Kyryushkyn, V. V. Kurdecha, «Mulykryterialnyy metod vertykalnoho khendovera», *Zbirnyk materialiv Mizhnarodnoyi naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi. Perspektyvy telekomunikatsiy*, Kyiv, 2016.
- [4] Ionut Bosoanca, Anca Vargatu, «An Overview of Vertical Handoff Decision Algorithms in NGWNs and a new Scheme for Providing Optimized Performance in Heterogeneous Wireless Networks», *Informatica Economica*, V. 15(1), pp. 5–21, 2011.
- [5] Shidrokh Goudarzi, Wan Haslina Hassan, Seyed Ahmad Soleymani, Mohammad Hossein Anisi, «Hybridisation of genetic algorithm with simulated annealing for vertical-handover in heterogeneous wireless networks», *International Journal of Ad Hoc and Ubiquitous Computing*, V. 24, N. 1/2, pp. 4–21, January. 2017.
- [6] A. D. Hryshaeva, V. YA. Voropayeva, «Vybir parametriv ta rozrobka kryteriyiv optymizatsiyi dlya protsedur vertykalnoho khendovera», *Zbirnyk naukovykh prats KHIII Mizhnarodnoyi naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi aspirantiv ta studentiv. Avtomatyzatsiya tekhnologichnykh obyektyv ta protsesiv. Poshuk molodykh*, Donetsk, 2013, s. 39–41.
- [7] M. T. Islam et al., «Vertical handover decision using fuzzy logic in a heterogeneous environment», in *2013 International Conference on Informatics, Electronics and Vision (ICIEV)*, Dhaka, 2013, pp. 1–3. doi: 10.1109/ICIEV.2013.6572621.
- [8] Mahmood Adnan, Hushairi Zen, Al-Khalid Othman, «Vertical Handover Decision Processes for Fourth Generation Heterogeneous Wireless Networks», *Asian Journal of Applied Sciences*, V. 1, Is. 5, pp. 229–235, December. 2013.
- [9] M. Saravanan, A. Prithiviraj, «Genetic based approach to Optimize the Vertical Handover performance among Heterogeneous Network», in *Proceedings of the International Conference on Intelligent Computing Systems (ICICS 2017)*, Salem, India, 2017, pp. 80–84.
- [10] Saeed Alsamhi, Navin Rajput, «Neural Network in Intelligent Handoff for QoS in HAP and Terrestrial Systems», *International Journal of Materials Science and Engineering*, V. 2(2), pp.141–146, December. 2014. doi: 10.12720/ijmse.2.2.141–146.

#### Відомості про авторів

**Семенова Олена Олександрівна** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри телекомунікаційних систем та телебачення Вінницького національного технічного університету.

**Семенов Андрій Олександрович** – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри радіотехніки Вінницького національного технічного університету.

**Войцеховська Ольга Олександрівна** – аспірантка, асистент кафедри системного аналізу та інформаційних технологій Вінницького національного технічного університету.

Е. А. Семёнова, А. А. Семёнов, О. А. Войцеховская

**ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ В ПРОЦЕДУРЕ  
ВЕРТИКАЛЬНОГО ХЭНДОВЕРА**

Винницкий национальный технический университет, Винница

O. O. Semenova, A. O. Semenov, O. O. Voitsekhovska

**USING A NEURAL NETWORK FOR THE VERTICAL  
HANDOVER PROCEDURE**

Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia