

УДК: 004.312.466:510.644.4

О. О. Семенова, А. О. Семенов, О. О. Войцеховська

## ЗАСТОСУВАННЯ НЕЧІТКОГО КОНТРОЛЕРА У ПРОЦЕДУРІ ВЕРТИКАЛЬНОГО ХЕНДОВЕРУ

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

**Анотація.** Через швидкий розвиток технологій мобільного зв'язку виникає ситуація, коли на одній території функціонують одразу декілька різних мереж мобільного зв'язку. У такому випадку, основною проблемою для забезпечення необхідної якості обслуговування користувачів є реалізація оптимального алгоритму швидкого перемикавання між різними мережами, тобто здійснення операції вертикального хендOVERу. У роботі запропоновано використовувати нечіткий контролер у інтелектуальному алгоритмі багатокритеріального вертикального хендOVERу. Розроблений нечіткий контролер має шість вхідних лінгвістичних змінних та одну вихідну. Подано базу правил, що складається з 64 правил. Проведено моделювання роботи розробленого нечіткого контролера у програмі Matlab.

**Ключові слова:** гетерогенна мережа, хендOVER, нечіткий контролер.

**Аннотация.** Быстрое развитие технологий мобильной связи приводит к возникновению ситуации, когда на одной территории функционируют сразу несколько различных сетей мобильной связи. В таком случае, основной проблемой для обеспечения требуемого качества обслуживания пользователей является реализация оптимального алгоритма быстрого переключения между различными сетями, то есть выполнение операции вертикального хэндовера. В работе предложено использовать нечёткий контроллер в интеллектуальном алгоритме многокритериального вертикального хэндовера. У разработанного нечёткого контроллера шесть входных лингвистических переменных и одну выходная. Представленная база правил состоит из 64 правил. Проведено моделирование работы разработанного нечёткого контроллера в программе Matlab.

**Ключевые слова:** гетерогенная сеть, хэндовер, нечёткий контроллер.

**Abstract.** Due to the rapid development of mobile technologies, there is a situation when several different mobile networks operate on one area. In this case, the main problem for ensuring the required quality of service for subscribers is implementation of an optimal algorithm for fast switching between different network, i.e. performing a vertical handover operation. The paper proposes to utilize a fuzzy controller in the intelligent algorithm of multicriterial vertical handover. We propose to use a fuzzy controller having six input and one output linguistic variables. The rule base consisting of sixty-four rules is presented. Simulation of the developed fuzzy controller in Matlab program was performed.

**Keywords:** heterogeneous network, handover, fuzzy controller.

**DOI:** <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2021-51-2-37-44>.

### Вступ

Наразі на Україні актуальним є питання забезпечення якості мобільного зв'язку, що спричинено розвитком ринку телекомунікацій. При цьому, по всій території розгортаються мережі четвертого покоління, в найближчі роки планується розгортання мереж п'ятого покоління. Як відомо, мобільні мережі наступних поколінь є гетерогенними мережами, де різні технології радіодоступу об'єднуються у межах єдиної інфраструктури з метою збільшення покриття і пропускної здатності. Зокрема, у гетерогенних мережах одночасно передаються різні типи трафіку (групові виклики з голосовим або відео трафіком, а також трафіком завантаження файлів) з мобільних станцій, що можуть рухатися з високою швидкістю. Тому, при реалізації гетерогенної мережі найбільшими викликами є ефективне керування радіоресурсами і забезпечення прозорого безшовного пересування абонентів. При цьому, ключовим механізмом, що дозволяє абоненту безшовно пересуватися в гетерогенній мережі є механізм вертикального хендOVERу [1].

### Актуальність

ХендOVER – це процес передачі управління з'єднанням від однієї базової станції (або точки доступу) до іншої. ХендOVER між базовими станціями однієї мережі називається горизонтальним, хендOVER між окремими безпроводними мережами називається вертикальним [2]. Як відомо, найбільш поширений алгоритм горизонтального хендOVERу оснований на значенні потужності приймального сигналу RSS, тобто хендOVER може відбутися у випадку, коли рівень RSS на базової станції стає нижчим за пороговий. В той же час, у гетерогенних мережах неефективно здійснювати операцію хендOVERу лише на основі одного критерію, оскільки при передачі мультисервісного трафіку необхідно враховувати параметри якості обслуговування, а також пріоритети користувачів. Таким чином, розроблення алгоритму вертикального хендOVERу, який би враховував максимальну кількість параметрів, є актуальною науково-практичною задачею.

### Мета

Метою даної роботи є розроблення пристрою для прийняття рішення стосовно здійснення операції вертикального хендOVERу.

### Задачі

1. Визначити вхідні критерії для прийняття рішення стосовно здійснення вертикального хендOVERу.

2. Обґрунтувати структурну схему пристрою, що видає рішення стосовно здійснення хендвера.

3. Промоделювати роботу пристрою.

### Реалізація хендвера

Операція вертикального хендвера ініціюється за наступних умов: мобільна станція вийшла за межі зони покриття мережі; погіршилися показники якості обслуговування; змінилися пріоритети користувача.

В процедурі вертикального хендвера виділяють три етапи [3]. Перший етап, ініціалізація, передбачає визначення доступних безпроводних мереж. Також на цьому етапі проводиться збір даних, які потрібні для прийняття рішення. Це можуть бути як параметри абонента, так і параметри мережі або параметри каналу зв'язку чи мобільного телефону. Другий етап, прийняття рішення, передбачає визначення мережі, до якої буде здійснено перемикавання обслуговування мобільної станції. На третьому етапі, здійснення хендвера, відбувається передача сеансу зв'язку на обрану мережу. Отже, на етапі прийняття рішення необхідно визначити найкращу мережу з-поміж доступних, розрахувати конкретний момент часу для переключення, а також прийняти рішення – здійснювати операцію хендвера чи ні.

Існуючі алгоритми етапу прийняття рішення поділяють за способом оброблення вхідних параметрів на два типи – математичні та інтелектуальні, причому інтелектуальні алгоритми здатні обробити більшу кількість вхідних параметрів [4].

Інтелектуальні алгоритми засновано на використанні нечітких контролерів, штучних нейронних мереж, генетичних алгоритмів. Зокрема, алгоритми на базі нечітких контролерів здатні обробляти результати неточних вимірювань, тому вони добре підходять для реалізації у мережах мобільного зв'язку, які розгортають у великих містах, де сигнали зазнають втрат через вплив будівель та машин [5]. Алгоритми на базі штучних нейронних мереж при виборі найкращої мережі дозволяють врахувати такі параметри як налаштування користувача та можливості стільникового телефону [6]. Алгоритми на базі генетичних алгоритмів оцінюють також ймовірність успішного хендвера, що, у свою чергу, призводить до підвищення продуктивності мережі [7].

Таким чином, покращити ефективність та якість системи мобільного зв'язку можна шляхом застосування у процедурі вертикального хендверу інтелектуальних алгоритмів. Оскільки використання алгоритму вертикального хендвера на основі нечіткої логіки дозволяє оптимізувати параметри мережі [8], у даній роботі пропонується розробити нечіткий контролер для застосування при реалізації операції вертикального хендвера (рис. 1).

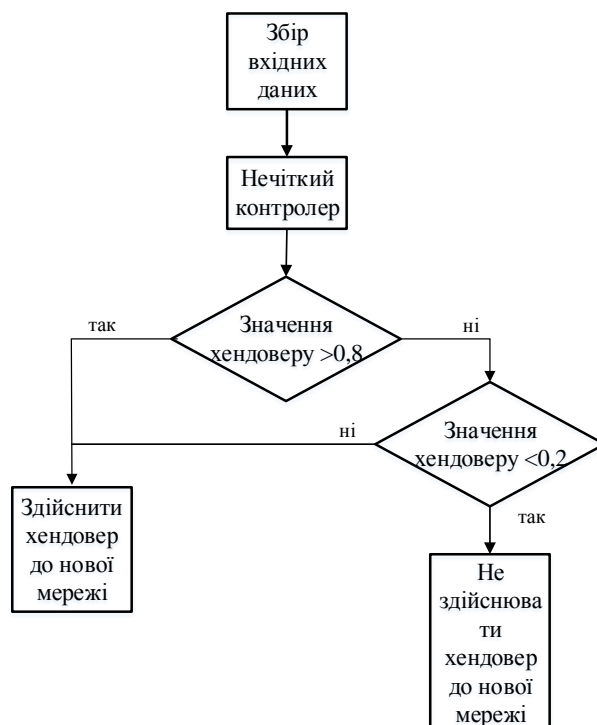


Рисунок 1 – Алгоритм хендверу на основі нечіткої логіки

### Нечіткий контролер

У якості вхідних величин нечіткого контролера пропонується використати такі параметри стільникової мережі: рівень потужності сигналу  $I$ , доступна смуга частот  $B$ , швидкість передачі даних  $R$ , джитер

$J$ , відстань між мобільною станцією та базовою станцією  $D$ , швидкість руху мобільного абонента  $S$ . Функції належності для вхідних та вихідних величин нечіткого контролера подано на рис.2–8.

Вихідною величиною нечіткого контролера є рішення стосовно доцільності здійснення хендвера  $H$ , що приймає значення від 0 до 1. Одиниця означає, що необхідно виконати передачу обслуговування мобільного абонента на нову стільникову мережу, а поява на виході нечіткого контролера нуля свідчить про повну недоцільність здійснення передачі обслуговування мобільного абонента на нову мережу. Проміжні значення відображають часткову доцільність здійснення хендвера.

Окрім того, можливо застосовувати такі додаткові параметри як безпечність зв'язку, вартість, енергоспоживання, пріоритет абонента.

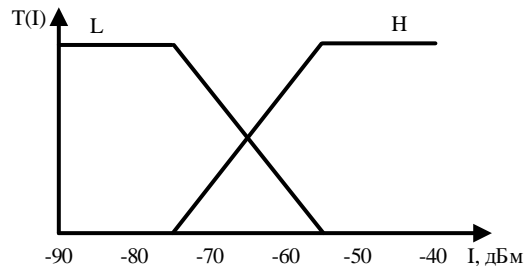


Рисунок 2 – Функції належності для рівня потужності сигналу

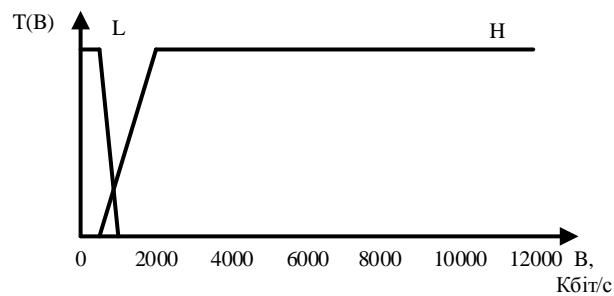


Рисунок 3 – Функції належності для доступної смуги частот

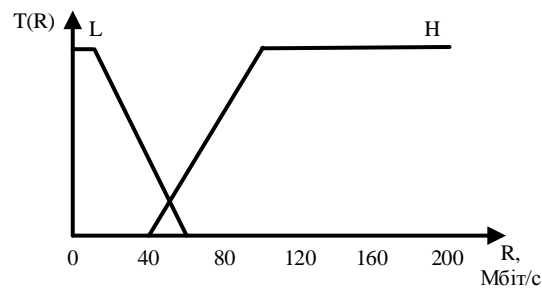


Рисунок 4 – Функції належності для швидкості передачі даних

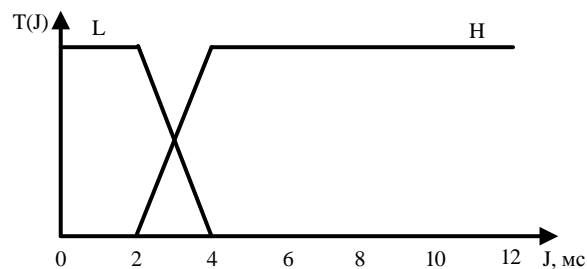


Рисунок 5 – Функції належності для джитера

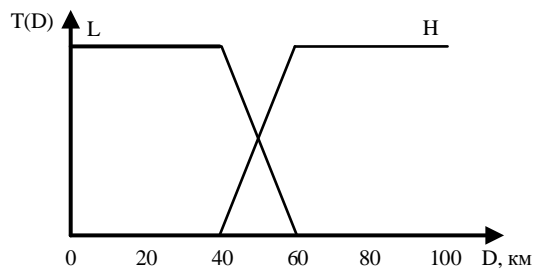


Рисунок 6 – Функції належності для відстані

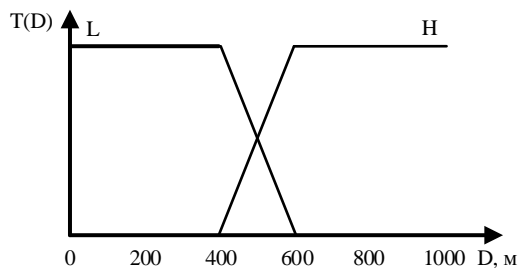


Рисунок 7 – Функції належності для швидкості

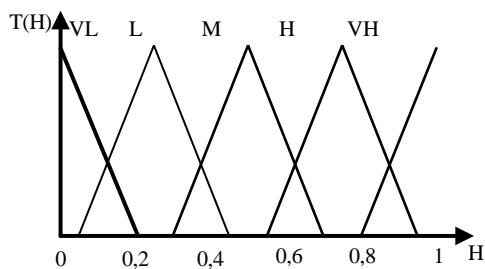


Рисунок 8 – Функції належності для здійснення хендвера

Оскільки база правил функціонування розробленого нечіткого контролера є досить великою та містить 64 правила, в табл.1 подано лише частину з них.

Таблиця 1 – База правил

Номер правила	I	B	R	J	D	S	H
1	L	L	L	L	L	L	VL
2	L	L	L	L	L	H	VL
3	L	L	L	L	H	L	VL
4	L	L	L	L	H	H	L
5	L	L	L	H	L	L	VL
6	L	L	L	H	L	H	VL
7	L	L	L	H	H	L	L
8	L	L	L	H	H	H	L
9	L	L	H	L	L	L	M
10	L	L	H	L	L	H	M
11	L	L	H	L	H	L	L
12	L	L	H	L	H	H	M
...	...	...	...	...	...	...	...
62	H	H	H	H	L	H	VH
63	H	H	H	H	H	L	VH
64	H	H	H	H	H	H	H

## Моделювання

Роботу розробленого нечіткого контролера було промодельовано у програмі Matlab. На рис. 9 подано вигляд нечіткого контролера, база правил представлена на рис.10.

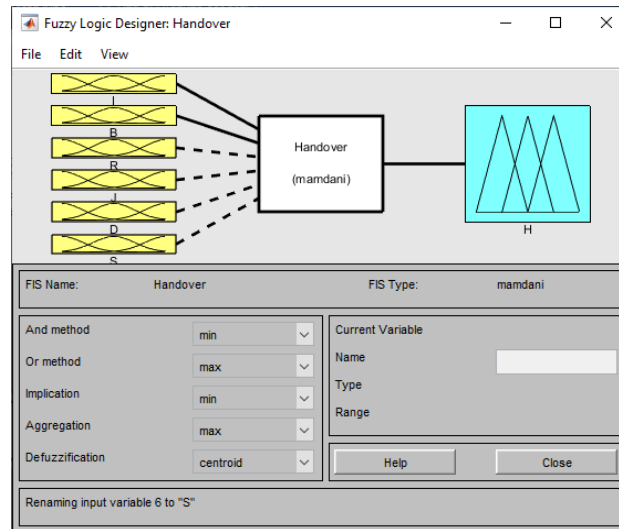


Рисунок 9 – Нечіткий контролер в програмі Matlab

У випадку, показаному на рис.11, були застосовані такі вхідні дані: рівень потужності сигналу складав  $-71$ дБм, доступна смуга частот –  $100$ кбїт/с, швидкість передачі даних –  $43$ Мбїт/с, джитер –  $8,6$ мс, відстань між мобільною станцією та базовою станцією –  $570$ м, швидкість руху мобільного абонента –  $20$ км/год. У результаті моделювання одержуємо значення рішення стосовно здійснення хендвера –  $0,396$ .

У випадку, показаному на рис.12, були застосовані такі вхідні дані: рівень потужності сигналу складав  $-72$ дБм, доступна смуга частот –  $8100$ кбїт/с, швидкість передачі даних –  $121$ Мбїт/с, джитер –  $8,83$ мс, відстань між мобільною станцією та базовою станцією –  $240$ м, швидкість руху мобільного абонента –  $85$ км/год. У результаті моделювання одержуємо значення рішення стосовно здійснення хендвера –  $0,552$ .

У випадку, показаному на рис.13, були застосовані такі вхідні дані: рівень потужності сигналу складав  $-45$ дБм, доступна смуга частот –  $3000$ кбїт/с, швидкість передачі даних –  $160$ Мбїт/с, джитер –  $4,5$ мс, відстань між мобільною станцією та базовою станцією –  $350$ м, швидкість руху мобільного абонента –  $110$ км/год. У результаті моделювання одержуємо значення рішення стосовно здійснення хендвера –  $0,937$ , тобто хендвер буде здійснено.

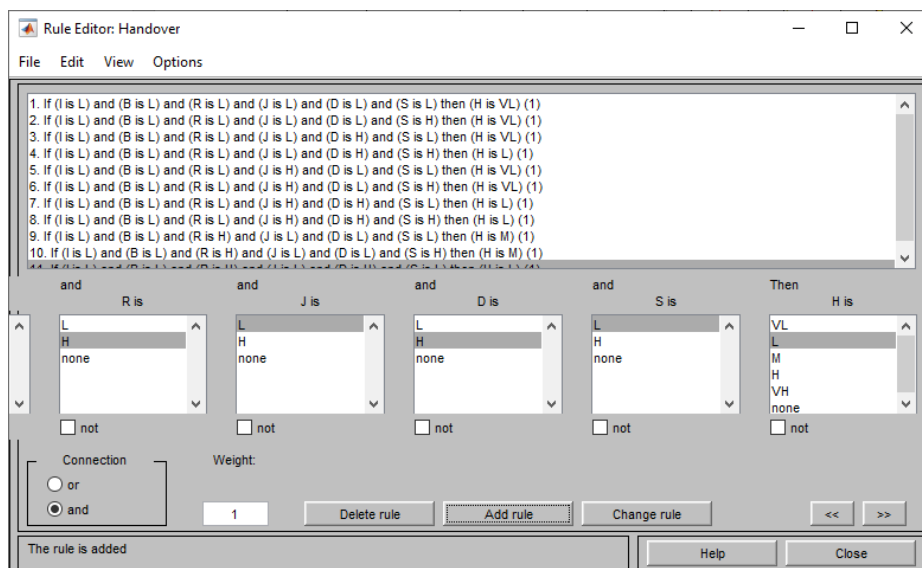


Рисунок 10 – База правил

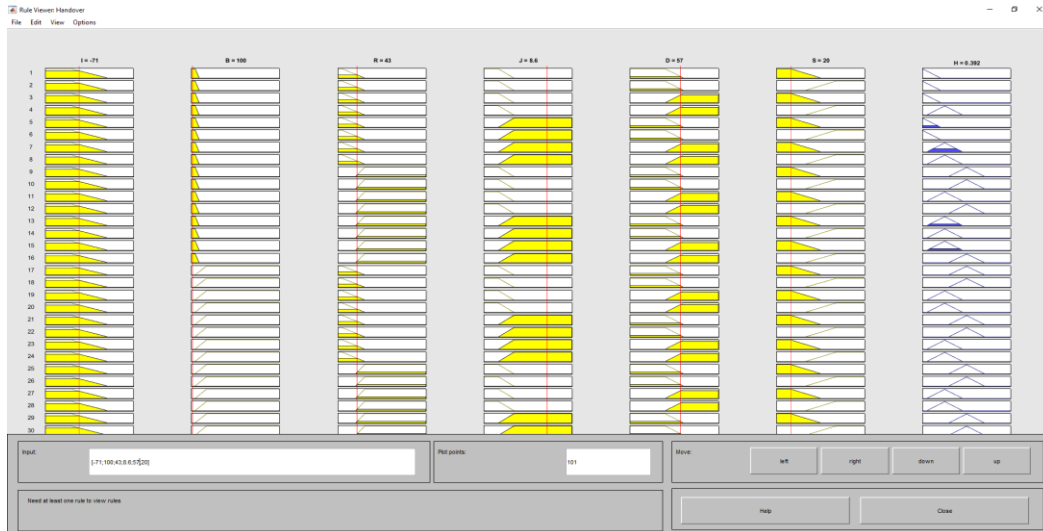


Рисунок 11 – Результат моделювання



Рисунок 12 – Результат моделювання



Рисунок 13 – Результат моделювання

### Висновки

У роботі запропоновано схему прийняття рішення стосовно здійснення інтелектуального вертикального хендвера на базі нечіткого контролера, який враховує шість вхідних параметрів. Правильність роботи пристрою підтверджується проведенням моделюванням у середовищі Matlab. Завдяки оптимізації механізму вертикального хендвера користувачке обладнання може здійснити правильний вибір мережі стільникового зв'язку.

### Список літератури

- [1] A. M. Aibinu, A. J. Onumanyi, A. P. Adedigba, M. Ipinyomi, 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] 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.
- [4] А. Д. Гришаева, В. Я. Воропаева, "Выбор параметров и разработка критерия оптимизации для процедуры вертикального хэндвера," *Збірник наукових праць XIII Міжнародної науково-технічної конференції аспірантів і студентів. Автоматизація технологічних об'єктів та процесів. Пошук молодих*, Донецьк, 2013, с. 39-41.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] M. Saravanan, A. Prithiviraj, "Genetic based approach to Optimize the Vertical Handover performance among Hetrogenous Network," in *Proceedings of the International Conference on Intelligent Computing Systems (ICICS 2017)*, Salem, India, 2017, pp. 80-84.
- [8] Sukhmandeep Kaur, "Optimization Of User Behaviour Based Handover Using Fuzzy Logic," *International Journal of Scientific & Technology Research*, V. 8, Is. 10, pp.2623-2629, October. 2019.

Стаття надійшла: 11.03.2021.

### References

- [1] M. Aibinu, A. J. Onumanyi, A. P. Adedigba, M. Ipinyomi, 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.
- [1] R. Masiuk, I. B. Strykhalyuk, M. V. Brych, I. O. Kahalo, H. V. Beshley, "Intellectual vertical handover algorithm in heterogeneous mobile network based on cloud technology," *Visnyk of Lviv Polytechnic National University*, № 874, pp. 110-121, 2017. – [in Ukrainian].
- [2] 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.
- [3] A. D. Hryshaeva, V. Ya. Voropayeva, "Selection of parameters and development of an optimization criterion for the vertical handover procedure," in *Proceedings of the XIII International scientific-technical conference of post-graduate students and students. Automation of technological objects and processes. Search for young people*. Donetsk, 2013, pp. 39-41.
- [4] 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. – [in Russian].
- [5] 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.
- [6] M. Saravanan, A. Prithiviraj, "Genetic based approach to Optimize the Vertical Handover performance among Hetrogenous Network," in *Proceedings of the International Conference on Intelligent Computing Systems (ICICS 2017)*, Salem, India, 2017, pp. 80-84.

- [7] Sukhmandeep Kaur, "Optimization Of User Behaviour Based Handover Using Fuzzy Logic," *International Journal of Scientific & Technology Research*, V. 8, Is. 10, pp.2623-2629, October. 2019.

**Відомості про авторів**

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

**Семенов Андрій Олександрович** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри радіотехніки.

**Войцеховська Ольга Олександрівна** – аспірантка, асистент кафедри системного аналізу та інформаційних технологій.

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

**ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЁТКОГО КОНТРОЛЛЕРА В  
ПРОЦЕДУРЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО ХЭНДОВЕРА**

Винницкий национальный технический университет, Винница

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

**USING A FUZZY CONTROLLER FOR THE VERTICAL  
HANDOVER PROCEDURE**

Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia