

**Олексій Разживін¹, Анастасія Люта², Олег Марков³, Дмитро Картамишев⁴,
Вікторія Мирошніченко⁵, Михайло Ільїнський⁶**

¹кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації виробничих процесів
Донбаська державна машинобудівна академія (Краматорськ, Україна)

E-mail: avrzzhivin75@gmail.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-1371-2651>. **Scopus Author ID:** [57672166200](https://orcid.org/0000-0002-1371-2651)

²кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації виробничих процесів
Донбаська державна машинобудівна академія (Краматорськ, Україна)

E-mail: asyalyutaya@gmail.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-9606-875X>. **Scopus Author ID:** [57205585546](https://orcid.org/0000-0002-9606-875X)

³доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматизації виробничих процесів
Донбаська державна машинобудівна академія (Краматорськ, Україна)

E-mail: oleg.markov.omd@gmail.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-9377-9866>
ResearcherID: [L-6561-2018](https://orcid.org/0000-0001-9377-9866). **Scopus Author ID:** [55648046800](https://orcid.org/0000-0001-9377-9866)

⁴кандидат технічних наук, асистент кафедри автоматизації виробничих процесів
Донбаська державна машинобудівна академія (Краматорськ, Україна)

E-mail: dima_kartamyshev@ukr.net. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-3240-8919>. **Scopus Author ID:** [57196149104](https://orcid.org/0000-0003-3240-8919)

⁵кандидат технічних наук, доцент кафедри організації та автоматизації виробництва
ТОВ «Технічний університет «Метінвест політехніка» (Запоріжжя, Україна)

E-mail: y.i.miroshnichenko@mipolytech.education **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5956-7867>
Scopus Author ID: [57205494697](https://orcid.org/0000-0002-5956-7867)

⁶магістр кафедри автоматизації виробничих процесів

Донбаська державна машинобудівна академія (Краматорськ, Україна)

E-mail: Fomenkomihail00@gmail.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-5219-5039>

МОДЕЛЮВАННЯ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ СИСТЕМИ ОБЛІКУ СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ У МІКРОРАЙОНІ

У статті вирішено актуальне науково-технічне завдання підвищення точності контролю та обліку витрат енергетичних ресурсів мешканцями багатопверхового мікрорайону з використанням сенсорних мереж. Проведено аналіз сучасного стану в галузі досліджень бездротових сенсорних мереж (БСМ), визначення найбільш важливих характеристик і структури БСМ при організації автоматизованої системи контролю та обліку енергоресурсів (АСКОЕ). Здійснено аналіз існуючих алгоритмів маршрутизації, самоорганізації та вибору головного вузла кластера в бездротових сенсорних мережах датчиків контролю витрати енергетичних параметрів споживачем. Проведена оцінка тривалості життєвого циклу мережі, періоду стабільності та пропускну здатності БСМ на основі відношення між радіусом покриття та радіусом дальності зв'язку.

Ключові слова: бездротові сенсорні мережі; автоматизована система контролю та обліку енергоресурсів; кластеризація; нейронні мережі.

Рис.: 8. Бібл.: 13.

Актуальність теми дослідження. Міста є великими споживачами енергоресурсів, оскільки в них проживає не тільки велика частина населення, але і розташована також велика кількість промислових підприємств. Залежно від розміру міста для живлення споживачів, розташованих на його території, повинна передбачатися відповідна система контролю споживання енергоресурсів, яка охоплює всіх споживачів міста, включаючи промислові підприємства.

Нині БСМ є одним зі способів збору даних для широкого спектра хмарних додатків.

Дослідження спрямоване на розробку нових алгоритмів вибору головного вузла та методики розміщення сенсорних вузлів для ефективної побудови БСМ, тому є актуальним.

Постановка проблеми. Щорічне підвищення вартості енергоресурсів вимагає проведення заходів з енергозбереження та впровадження сучасних IoT-технологій в розумному використанні і обліку електроенергії. Створена система поділу енергетичних компаній на мережеві і збутові диктує створення нових, достовірних способів за визначенням обсягів купленої і переданої споживачам електричної, теплової енергії, холодної та гарячої води. Усі надані енергоресурси збутовою організацією підлягають оплаті або кінцевим споживачем, або мережевою організацією в якості компенсації втрат при транспортуванні. У зв'язку з чим, мережеві організації змушені проводити заходи щодо зниження технологічних і комерційних втрат. Організація автоматизованої системи контролю та обліку енергоресурсів дозволяє мінімізувати втрати і отримувати максимальний прибуток для обох сторін.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Багато вчених світу займались дослідженням концепції розумного міста: Caragliu A. [1], Curiale M. [2], Cohen B. [3], Czaja J. [4]. Безпосередньо дослідженням методів побудови розумних енергосистем в управлінні розумним містом займались вчені Farmanbar M., Parham K., Arild O., Rong C. [5], Kang T. [6], Allen M., Preis, A., Iqbal, M., Whittle, A.J. [7] та інші вчені. В наведених вище наукових дослідженнях приділяється увага перспективності розвитку енергосистем розумних міст з використанням великої кількості даних. Однак дослідники не проводили аналізу потенційної та реальної загрози передачі даних від датчиків контролю споживання енергоресурсів.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Перспективним напрямом підвищення ефективності роботи бездротових сенсорних мереж є дослідження і аналіз їхнього сучасного стану, а також існуючих алгоритмів маршрутизації, самоорганізації та вибору головного вузла кластера в бездротових сенсорних мережах датчиків контролю витрати енергетичних параметрів споживачем, що дозволить підвищити точність контролю та обліку витрати енергетичних ресурсів мешканцями багатоповерхового мікрорайону.

Мета дослідження – підвищення точності контролю та обліку спожитих мешканцями енергоресурсів у мікрорайоні за рахунок збільшення життєвого циклу бездротових сенсорних мереж.

Виклад основного матеріалу. Згідно з запропонованою структурою АСКОЕ, наведеною на рис. 1, проведено дослідження побудови БСМ домівки, головних шлюзів будівель із вибором головного шлюзу (вузла). З метою підвищення життєвого циклу БСМ дослідження проведені методами кластеризації сенсорної мережі. Дані дослідження здійснені згідно з рекомендаціями, наведеними у роботах [8-13].

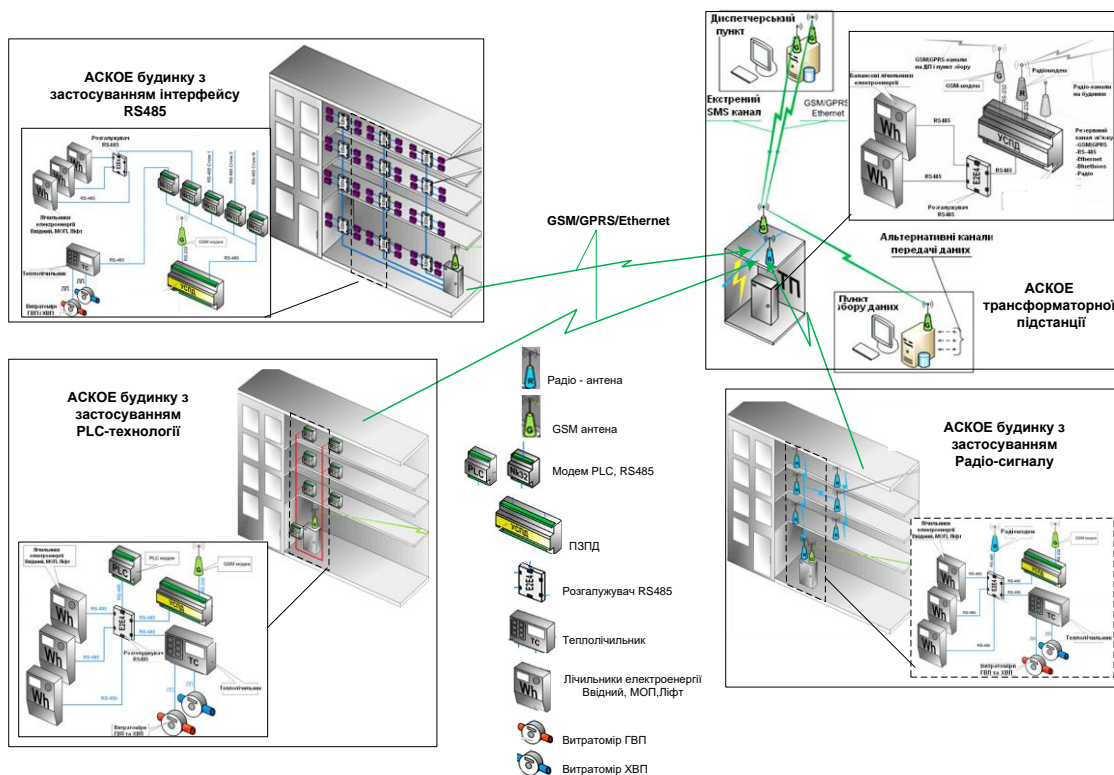


Рис. 1. Структурна схема АСКОЕ мікрорайону

У АСКОЕ мікрорайону є безліч бездротових сенсорних вузлів, розподілених у просторі і призначених для моніторингу характеристик довкілля чи об'єктів, розташованих у ній. Ці сенсори автономно збирають різні типи даних з БСМ і відправляють їх на базову станцію (БС), яка через стільниковий зв'язок передає їх для кінцевих користувачів через Інтернет або мережу зв'язку загального користування.

Проведення експериментального дослідження БСМ домівки здійснено рішенням задачі кластеризації сенсорів з використанням нейронних мереж із шаром Коханена [8; 9]. Для створення нейронної мережі із шаром Коханена скористаємося вбудованою в середу MATLAB функцією *newsc*. Відстань між сенсорами приведено у відносних одиницях у вигляді масивів за формулою

$$x_o = X_k / X_{pl}; \quad (1)$$

$$y_o = Y_k / Y_{pl}, \quad (2)$$

де X_k, Y_k – декартові координати сенсорів домівки;

X_{pl}, Y_{pl} – кінцеві декартові координати домівки.

Результат роботи математичного моделювання представлено на рис. 2. Проведений аналіз дозволяє виявити центри розміщення шлюзів (кластерів) при просторовому розміщенні сенсорів (датчиків) виміру витрат енергетичних параметрів мешканцями 5-поверхової будівлі.

Проведені експериментальні дослідження головних шлюзів домівок мікрорайону. Дослідження здійснені також рішенням задачі кластеризації сенсорів з використанням нейронних мереж з шаром Коханена. Відстань між головними вузлами в масивах баз даних задається з коефіцієнтом 0,1 для більш наглядної форми. При моделюванні розташування центрів кластерів груп домівок здійснювалось відносно геопозиції антени стільникового зв'язку (на рис. 3 зазначено «+»). Результат математичного моделювання в середовищі MATLAB представлено на рис. 3.

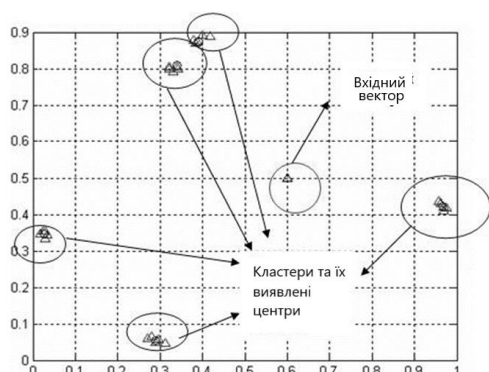


Рис. 2. Виявлені центри кластерів сенсорів у домівки

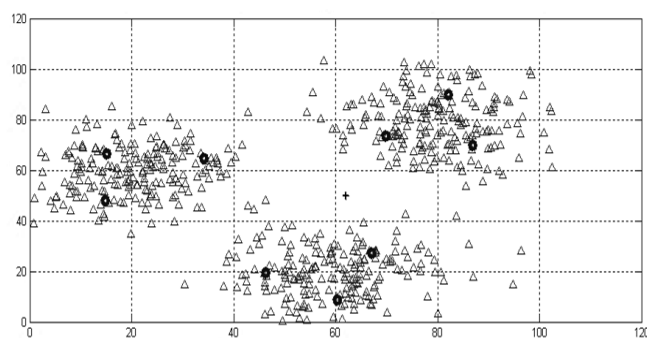


Рис. 3. Виявлені кластери (плюс на рисунку – вхідний вектор)

Проведено дослідження вибору із застосуванням методів нечіткої логіки з метою порівняння результатів та вибору найкращого методу.

В алгоритмі вибору головного вузла кластера з урахуванням нечіткої логіки використовуються два параметри для вибору головного вузла кластера у БСМ: залишкова енергія та центральність за діаграмами Вороного [8; 12], які оцінюються на основі методів нечіткої логіки. Контролер нечіткої логіки FLC (Fuzzy Logic Controller) складається з наступних компонентів (див. рис. 4): блоку фазифікації, бази правил, блоків нечіткого виведення та дефазифікації.

Етапи моделювання. *Перший етап.* Фазифікація – процес перетворює точні значення вхідних змінних лінгвістичних (нечітких) змінних за допомогою застосування певних функцій належності [10, 11].

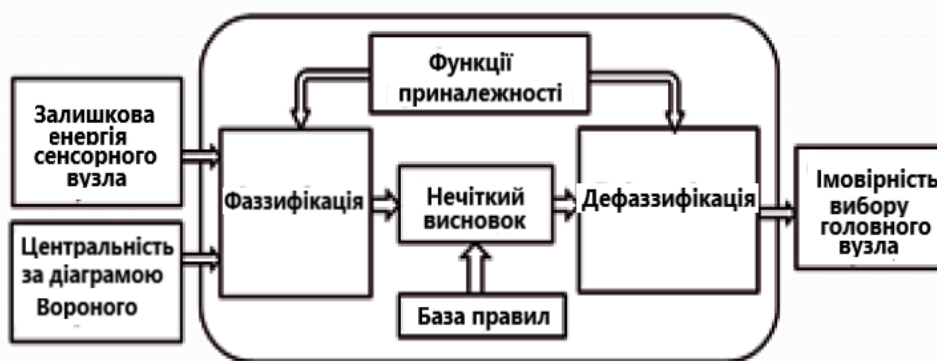


Рис. 4. Контролер нечіткої логіки (FLC) вибору головного вузла

У табл. 1 наведено параметри, терм-множини та межі значень параметрів для системи нечіткого виведення. На виході з FLC матимемо можливість вибору головного вузла у відсотках.

Таблиця 1 – Параметри системи нечіткого висновку

x	x_1	Назва параметра	Залишкова енергія
		Терм-множини	{мала, середня, висока}
		Межі значень	[0-0,1] Дж
	x_2	Ім'я параметру	Центральність за діаграмами Вороного
		Терм-множини	{далека, середня, близька}
		Межі значень	[0-100]%
y		Ім'я параметру	Імовірність вибору головного вузла
		Терм-множини	{дуже мала, мала, більше малої, менше середньої, середня, більше середньої, невелика, велика, дуже велика}
		Межі значень	[0-100]%

За підсумками таблиці 1 для нечітких множин зазначених параметрів за допомогою програмного забезпечення MATLAB отримуємо функції належності, наведені на рис. 5.

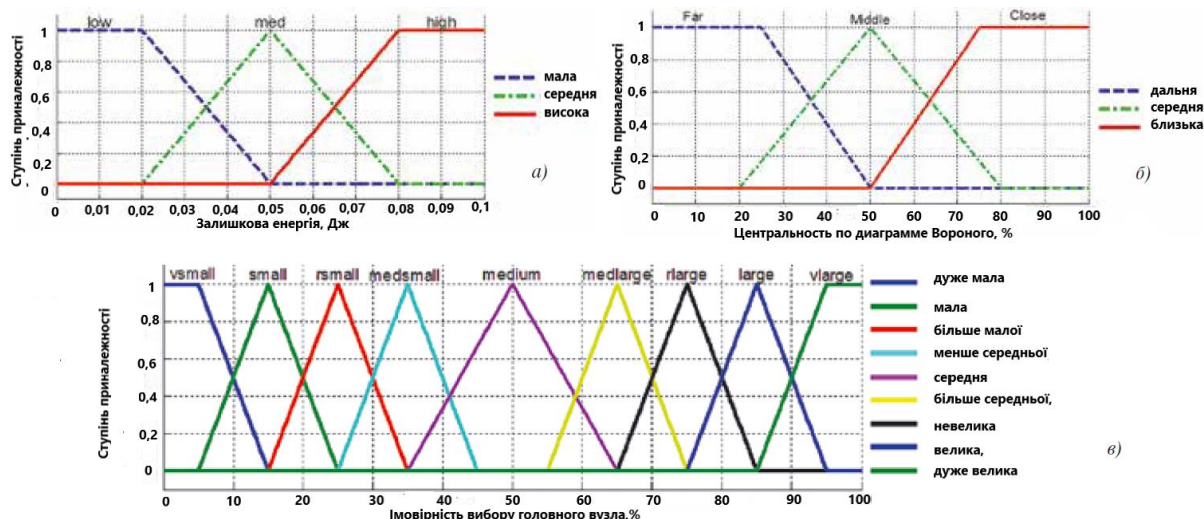


Рис. 5. Функції приналежності вхідних параметрів:
 а – залишкова енергія; б – центральність за діаграмами Вороного;
 в – імовірність вибору головного вузла

Такими функціями для кожного терму всіх лінгвістичних змінних обрано трикутні функції належності. Після знаходження функцій належності та вхідних параметрів необхідно визначити базу правил відповідних параметрів.

Другий етап. База правил, що являє собою безліч нечітких правил R^k , $k = 1, \dots, N$ виду:

$$\begin{aligned} \text{Рк: } & \text{ЯКЩО}(x_1 \text{ це } A_1^k \text{ ТА } x_2 \text{ це } A_2^k \dots \text{ ТА } x_n \text{ це } A_n^k), \\ & \text{ТОДІ}(y_1 \text{ це } B_1^k \text{ ТА } y_2 \text{ це } B_2^k \dots \text{ ТА } y_n \text{ це } B_n^k), \end{aligned} \quad (3)$$

де n — кількість нечітких правил;

A_k — нечіткі множини $A_i^k \subseteq X_i \subset \mathbb{R}, i = 1, \dots, n$ (див. рис. 5).

Третій етап. Правилком для блоку нечіткого висновку використовуватимемо правило Мамдані:

$$\mu_B(y) = \max_{k=1-N} \left\{ \min \left[\mu_{A_1^k}(\bar{x}_1), \mu_{A_2^k}(\bar{x}_2), \mu_{B_1^k}(y) \right] \right\}, \quad (4)$$

де \bar{x}_1 та \bar{x}_2 — відповідно вхідні параметри (залишкова енергія сенсорного вузла та центральність за діаграмами Вороного);

A_1^k та A_2^k — відповідні їм нечіткі множини,

$k = 1, \dots, N$;

N — кількість правил нечіткого висновку ($N = 32 = 9$);

y — вихідний параметр (імовірність вибору головного вузла);

B_1^k — множина, яка відповідає вихідному параметру.

Отримавши основу правил, виконуємо операцію нечіткого висновку. Як висновок для кожного правила використовується лінгвістична змінна — ймовірність вибору головного вузла.

Четвертий етап. Імовірність вибору головного вузла визначена в результаті операції дефазифікації вихідної нечіткої множини (значення ймовірності вибору головного вузла) проведено методом центру тяжкості, використовуючи формули [10-13]:

$$y = \left(\sum_{k=1}^N ak \int_y \mu_{B^k}(y) dy \right) / \left(\sum_{k=1}^N ak \int_y \mu_{B^k}(y) dy \right), \quad (4)$$

де μ_{B^k} — функція належності правила вихідної нечіткої множини k -го правила бази правил, $k = 1, \dots, N$;

ak — точка, у якій ця функція належності набуває значення 1.

Запропонований алгоритм може бути ефективно використаний для вибору головного вузла кластера у БСМ (рис. 6).

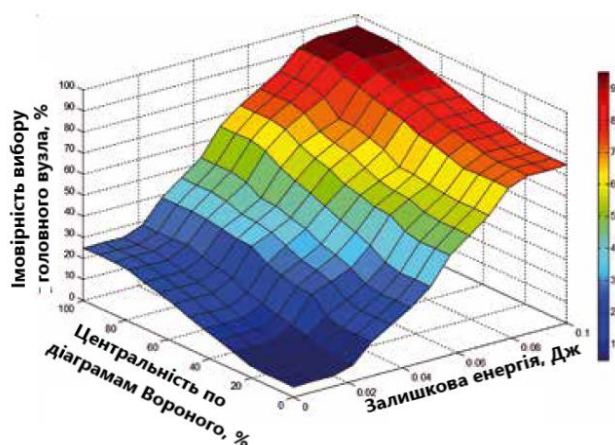


Рис. 6. Залежність імовірності вибору головного вузла від залишкової енергії та центральності за діаграмами Вороного

Нижче наведено результати моделювання, виконані в середовищі MATLAB.

Як модель мережі використовується модель зі 100 вузлів, розподілених випадковим чином на площині розміром 100×100 м.

Після того як вузли розподілені, відбувається перехід до формування кластерів із використанням діаграм Вороного.

На рис. 7 наведено результати моделювання вибору головного вузла кластера на основі нечіткої логіки з використанням діаграм Вороного.

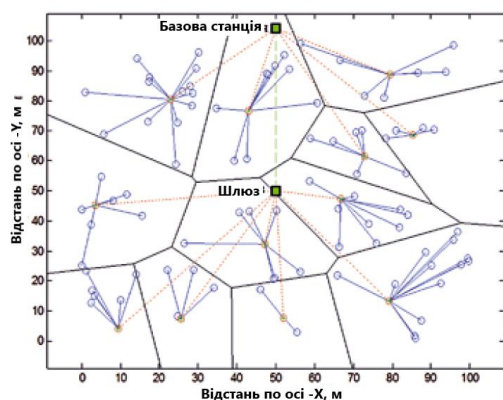


Рис. 7. Вибір головного вузла кластера на основі нечіткої логіки з допомогою діаграм Вороного

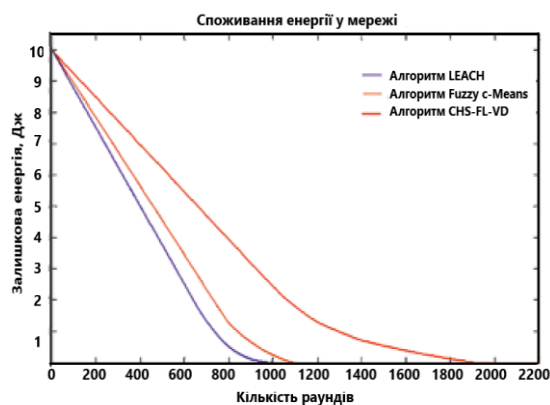


Рис. 8. Залежність залишкової енергії від кількості раундів

Для того щоб оцінити ефективність запропонованого алгоритму, скористаємося загально визначеними для порівняння метриками: залишковою енергією та життєвим циклом мережі. На рис. 8 показана залишкова енергія в мережі відповідно для запропонованого алгоритму порівняно з базовим алгоритмом LEACH та добре відомим алгоритмом, виконаним із використанням нечіткої логіки Fuzzy C-Means.

Застосування діаграм Вороного, як міри центральності розташування вузла (у сукупності із залишковою енергією), та нечіткої логіки дозволило суттєво збільшити життєвий цикл мережі порівняно з базовим алгоритмом LEACH та з алгоритмом Fuzzy C-Means, заснованим також на використанні методів нечіткої логіки.

Результати моделювання довели, що запропонований алгоритм дозволяє суттєво збільшити життєвий цикл сенсорної мережі порівняно з відомими алгоритмами (на 89 % порівняно з алгоритмом LEACH та на 70 % – з Fuzzy C-Means), а, значить, і підвищити точність контролю та обліку енергоресурсів спожитих мешканцями. Підвищення життєвого циклу сенсорної мережі безпосередньо впливає на точність контролю, бо виключає прогалини у формуванні даних про фактичну витрату енергетичних ресурсів у реальному часі.

Висновки. Проведене оцінювання тривалості життєвого циклу мережі, періоду стабільності та пропускну здатності БСМ на основі відношення між радіусом покриття та радіусом дальності зв'язку показало, що застосований алгоритм вибору головного вузла кластера на основі нечіткої логіки з використанням діаграм Вороного суттєво підвищив точність контролю та обліку енергоресурсів спожитих мешканцями у мікрорайоні шляхом збільшення життєвого циклу сенсорної мережі в порівнянні з алгоритмами LEACH та Fuzzy C-Means.

Список використаних джерел

1. Caragliu A. Smart cities in Europe [Electronic resource] / A. Caragliu // Journal of Urban Technology. – 2011. – Vol. 18, No 2. – Pp. 65-82. – Access mode: https://www.researchgate.net/publication/46433693_Smart_Cities_in_Europe.
2. Curiale M. From smart grids to smart city [Electronic resource] / M. Curiale. // Saudi Arabia Smart Grid Conference (SASG) (Jeddah, Saudi Arabia, 14-17 December 2014). – 2014. – Access mode: https://www.researchgate.net/publication/308602206_From_smart_grids_to_smart_city.
3. Cohen B. What exactly is a smart city? [Electronic resource] / B. Cohen // Fast Company. 2012. – Access mode: https://www.fastcompany.com/1680538/what_exactly_is_a_smart_city.
4. Czaja J. How to build a smart city [Electronic resource] / J. Czaja. – Access mode: <https://www.linkedin.com/pulse/how-build-smart-city-jaroslaw-czaja>.
5. A widespread review of smart grids towards smart cities [Electronic resource] / M. Farmanbar, K. Parham, O. Arild, C. Rong // Energies. – 2019. – Vol. 12, No 23. – Access mode: <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/23/4484>.

6. Kang T. South Korea's experience with smart infrastructure services [Electronic resource] / T. Kang. – [W. e.], 2020. – 36 p. – Access mode: <https://publications.iadb.org/en/south-koreas-experience-smart-infrastructure-services-smart-grids>.
7. Case study: a smart water grid in Singapore [Electronic resource] / M. Allen, A. Preis, M. Iqbal, A. J. Whittle // *Water Practice & Technology*. – 2012. – Vol. 7, № 4. – Access mode: https://www.researchgate.net/publication/243971905_Case_study_A_smart_water_grid_in_Singapore.
8. Koucheryavy A. Ubiquitous Sensor Networks Traffic Models for Telemetry Applications. *Smart Spaces and Next Generation Wired/Wireless Networking* [Electronic resource] / A. Koucheryavy, A. Prokopiev // *Proceedings, 11th International Conference, NEW2AN 2011 and 4th Conference on Smart Spaces, ruSMART2011. LNCS 6869 (S.- Petersburg, August 2012)* / Springer, 2011. – Pp. 287-294. – Access mode: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-22875-9_26.
9. Koucheryavy A. Ubiquitous Sensor Networks Traffic Models for Medical and Tracking Applications [Electronic resource] / A. Koucheryavy, A. Vybornova // *12th International Conference on Next Generation Wired. Wireless Networking. NEW2AN 2012 (S.- Petersburg, August 2012)* / Springer LNCS 7469. – Access mode: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-32686-8_31.
10. Koucheryavy A. State of Art and Research Challenges for USN Traffic Flow Models [Electronic resource] / A. Koucheryavy // *Proceedings, ICACT'2014 : 16th International Conference on Advanced Communication Technology (Phoenix Park, Korea, 16-19 February. 2014)*. – Access mode: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6778977>.
11. Heinzelman, W. R. An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks [Electronic resource] / W. R. Heinzelman, A. P. Chandrakasan, H. Balakrishnan // *IEEE Transactions on Wireless Communications*. – 2002. – Vol. 1, № 4. – Pp. 660-670. – Access mode: https://www.researchgate.net/publication/3432618_An_Application-Specific_Protocol_Architecture_for_Wireless_Micro-Sensor_Networks.
12. Salim, A. Cluster head selection for homogeneous Wireless Sensor Networks [Electronic resource] / A. Salim, A. Koucheryavy // *Advanced Communication Technology. ICACT 2009 : 11th International Conference IEEE (Phoenix Park, Korea, Feb. 2009)*. – 2009. – Vol. 03. – Pp. 2141-2146. – Access mode: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4809504>.
13. Ben Alla S. Gateway and Cluster Head Election using Fuzzy Logic in heterogeneous wireless sensor networks [Electronic resource] / S. Ben Alla, A. Ezzati, A. Mohsen // *International Conference on Multimedia Computing and Systems (ICMCS)(May 2012)*. – 2012. – Pp. 10-12, 761-766. – Access mode: https://www.researchgate.net/publication/256838366_Gateway_and_Cluster_Head_Election_using_Fuzzy_Logic_in_heterogeneous_wireless_sensor_networks.

References

1. Caragliu, A. (2011). *Smart cities in Europe. Journal of Urban Technology*, 18(2), 65-82. https://www.researchgate.net/publication/46433693_Smart_Cities_in_Europe.
2. Curiale, M. (2014). From smart grids to smart city. *Saudi Arabia Smart Grid Conference (SASG)*. https://www.researchgate.net/publication/308602206_From_smart_grids_to_smart_city.
3. Cohen, B. (2012). What exactly is a smart city? *Fast Company*. https://www.fastcompany.com/1680538/what_exactly_is_a_smart_city.
4. Czaja, J. (2016). How to build a smart city. *ITProPortal*. https://www.itproportal.com/2016/07/09/how_to_build_a_smart_city.
5. Farmanbar M., Parham K., Arild O., & Rong C. (2019). A widespread review of smart grids towards smart cities. *Energies*, 12(23). https://www.mdpi.com/1996_1073/12/23/4484/htm.
6. Kang, T. (2020). *South Korea's experience with smart infrastructure services* (p. 36). <https://publications.iadb.org/en/south-koreas-experience-smart-infrastructure-services-smart-grids>.
7. Allen, M., Preis, A., Iqbal, M., & Whittle, A.J. (2012). Case study: a smart water grid in Singapore. *Water Practice & Technology*, 7(4). https://www.researchgate.net/publication/243971905_Case_study_A_smart_water_grid_in_Singapore.
8. Koucheryavy, A. (2011). Ubiquitous Sensor Networks Traffic Models for Telemetry Applications. *Smart Spaces and Next Generation Wired/Wireless Networking. Proceedings, 11th International Conference, NEW2AN 2011 and 4th Conference on Smart Spaces, ruSMART2011. LNCS 6869*. Springer.
9. Koucheryavy, A., & Vybornova A. (2012). Ubiquitous Sensor Networks Traffic Models for Medical and Tracking Applications / *12th International Conference on Next Generation Wired. Wireless Networking. NEW2AN 2012. Springer LNCS 7469*.

10. Koucheryavy, A. (2014). State of Art and Research Challenges for USN Traffic Flow Models. *Proceedings, ICACT'2014*.
11. Heinzelman, W.R., & Chandrakasan, H. (2002). Balakrishnan. An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 1(4), 660-670.
12. Salim, A., & Koucheryavy, A. (2009). Cluster head selection for homogeneous Wireless Sensor Networks / *Advanced Communication Technology. ICACT 2009. 11th International Conference IEEE*, 03, 2141-2146.
13. Ben Alla, S., Ezzati, A., & Mohsen, A. (2012). Gateway and Cluster Head Election using Fuzzy Logic in heterogeneous wireless sensor networks. *International Conference on Multimedia Computing and Systems (ICMCS)* (pp. 10-12, 761-766).

Отримано 20.03.2023

UDC 681.5:629.3

**Oleksii Razzhyvin¹, Anastasiia Liuta², Oleg Markov³, Dmytro Kartamyshev⁴,
Victoria Miroshnichenko⁵, Mykhailo Ilinskyi⁶**

¹PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Automation of Industrial Processes Department
Donbass State Engineering Academy (Kramatorsk, Ukraine)

E-mail: avrzzhyvin75@gmail.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-1371-2651>. **Scopus Author ID:** [57672166200](https://orcid.org/0000-0002-1371-2651)

²PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Automation of Industrial Processes Department
Donbass State Engineering Academy (Kramatorsk, Ukraine)

E-mail: asyalyutaya@gmail.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-9606-875X>. **Scopus Author ID:** [57205585546](https://orcid.org/0000-0002-9606-875X)

³Doctor of Technical Science, Professor of the Automation of Industrial Processes Department
Donbass State Engineering Academy (Kramatorsk, Ukraine)

E-mail: oleg.markov.umd@gmail.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-9377-9866>

ResearcherID: [L-6561-2018](https://orcid.org/0000-0001-9377-9866). **Scopus Author ID:** [55648046800](https://orcid.org/0000-0001-9377-9866)

⁴PhD in Technical Sciences, Assistant of the Automation of Industrial Processes Department
Donbass State Engineering Academy (Kramatorsk, Ukraine)

E-mail: dima_kartamyshev@ukr.net. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-3240-8919>. **Scopus Author ID:** [57196149104](https://orcid.org/0000-0003-3240-8919)

⁵PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Organization and Automation of Manufacturing
LLC "Technical University "Metinvest Politechnika"

E-mail: v.i.miroshnichenko@mipolytech.education **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5956-7867>

Scopus Author ID: [57205494697](https://orcid.org/0000-0002-5956-7867)

⁶master of the Automation of Industrial Processes Department
Donbass State Engineering Academy (Kramatorsk, Ukraine)

E-mail: Fomenkomihail00@gmail.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-5219-5039>

SIMULATION AND IMPROVEMENT OF SENSOR NETWORK OF ENERGY RESOURCES CONSUMPTION ACCOUNTING SYSTEM IN MICRODISTRICT

The research is aimed at the development of new algorithms for the selection of a main node and methods of placement of sensor nodes for the effective construction of wireless sensor networks (WSNs), therefore it is relevant.

The analysis of the literature made it possible to establish that many scientists were engaged in the research of methods of building smart energy systems for a smart city management. However, the researchers did not analyze the potential and real threat of data transmission from energy consumption control sensors.

The purpose of the research is to improve the accuracy of control and accounting of energy resources consumed by residents for the neighborhood using wireless sensor networks.

The article analyzes the state of the art in the field of research on wireless sensor networks (WSNs), determines the most important characteristics and structure of WSNs in the organization of the automated system of control and accounting of energy resources (ASCOE). An analysis of the existing algorithms for routing, self-organization and selection of a main node of the cluster in wireless sensor networks of sensors for controlling the consumption of energy parameters by the consumer was carried out. The duration of the network's life cycle, the period of stability and the bandwidth of the BSM was evaluated based on the ratio between the radius of coverage and the radius of the communication range.

Studies have shown that the applied algorithm for selecting the main node of the cluster based on fuzzy logic using Voronoi diagrams significantly increases the life cycle of the sensor network compared to the LEACH and Fuzzy C-Means algorithms.

Keywords: wireless sensor networks; automated system of control and accounting of energy resources; clustering; neural networks.

Fig.: 8. References: 13.