

**Дрегалю Б. О.,**

*студент групи Цк-31мп*

*Навчально-наукового інституту телекомунікаційних систем*

*Національного технічного університету України*

*«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

*м. Київ, Україна*

## **РОЗВИТОК МЕТОДІВ КЕРУВАННЯ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯМ В БЕЗПРОВОДОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ**

В умовах воєнного та повоєнного часу безпроводові сенсорні мережі (БСМ) стали важливим інструментом для підтримки інформаційної безпеки, моніторингу критичних об'єктів та забезпечення ефективного управління ресурсами. Вони використовуються для виявлення загроз, оперативного спостереження за інфраструктурою, підтримки військових операцій, а також для відновлення інфраструктури після завершення бойових дій. В умовах, коли традиційні системи комунікацій можуть бути зруйновані або недоступні, БСМ забезпечують альтернативу, здатну швидко адаптуватися до змін в операційному середовищі та забезпечити надійну передачу даних.

Проте одним із найбільших викликів для БСМ є проблема енергозбереження. В умовах підвищених вимог до надійності та ефективності, коли мережа повинна функціонувати тривалий час без перерв, забезпечення ефективного використання енергетичних ресурсів стає критично важливим. Вузли мережі зазвичай мають обмежений запас енергії, тому оптимізація енергоспоживання стає ключовим завданням для забезпечення їх тривалої та надійної роботи. Особливо це важливо в умовах, коли доступ до мережі для заміни батарей або технічного обслуговування є неможливим, наприклад, на полях бою або в важкодоступних регіонах.

Актуальність цього дослідження обумовлена зростаючою необхідністю забезпечення довготривалого функціонування БСМ у критичних умовах, таких як військові дії або процес відновлення інфраструктури. Безперервний моніторинг та надійна передача даних є важливими складовими забезпечення безпеки та контролю, що потребує оптимального використання обмежених енергоресурсів. У цьому контексті енергозбереження виступає не лише як засіб продовження терміну роботи мережі, але й як ключовий фактор для підтримки її надійності та ефективності.

У процесі огляду існуючих методів енергозбереження в безпроводових сенсорних мережах (БСМ) було проаналізовано сучасні

протоколи та методи, які спрямовані на зменшення енергоспоживання і забезпечення тривалої роботи мережі. Основні протоколи включають методи кластеризації, що дозволяють групувати вузли мережі у кластери, де головний вузол відповідальний за збір і передачу даних. Це знижує енергоспоживання звичайних вузлів, що не беруть участі у передачі даних на великі відстані. Іншим підходом є адаптивне керування потужністю, яке передбачає динамічне регулювання потужності передавачів залежно від відстані між вузлами і умов середовища, що дозволяє знижувати загальні витрати енергії. Окрім цього, ефективним методом є перехід вузлів у сплячий режим, коли вони не залучені до активної роботи. Це значно знижує енергоспоживання, оскільки вузли витрачають мінімум енергії під час перебування в такому режимі.

Порівняльний аналіз цих підходів показує, що кожен з методів має свої переваги та обмеження. Кластеризація забезпечує зниження витрат енергії, проте вимагає додаткових ресурсів для координації кластерів. Адаптивне керування потужністю дозволяє зменшувати енерговитрати залежно від конкретних умов, але потребує точного налаштування для ефективного функціонування. Методи переходу у сплячий режим є найбільш енергозберігаючими, але можуть призводити до затримок у передачі даних, що може бути критичним у деяких ситуаціях.

Розробка нових методів керування енергозбереженням у БСМ включає використання сучасних технологій штучного інтелекту (ШІ) та машинного навчання для оптимізації використання енергетичних ресурсів. ШІ може забезпечити інтелектуальне керування ресурсами, наприклад, прогнозування режимів роботи вузлів на основі історичних даних, що дозволяє зменшити витрати енергії. Машинне навчання також може бути застосоване для адаптивного налаштування робочих режимів, що робить мережу більш гнучкою до змінних зовнішніх умов, таких як зміна навантаження, перешкоди або кількість активних вузлів.

Також розробляються алгоритми для ефективного управління робочими режимами вузлів залежно від зміни зовнішніх умов. Це може включати перехід вузлів у сплячий режим або адаптацію потужності передавачів залежно від змін у топології мережі чи рівня заряду батареї. Такі алгоритми покликані забезпечити тривале функціонування мережі без втрати її ефективності та стабільності.

Особливості впровадження енергозберігаючих методів у військовий та повоєнний період мають свої виклики, пов'язані з умовами нестабільної інфраструктури. Під час бойових дій або у повоєнний час інфраструктура може бути частково або повністю зруйнована, що ускладнює впровадження нових технологій. Тому важливо забезпечити адаптивність мережі та її здатність швидко відновлювати свою роботу в складних умовах.

Також необхідно враховувати специфічні потреби воєнного часу, зокрема захист даних від можливих атак. Це вимагає адаптації методів енергозбереження так, щоб вони не впливали негативно на безпеку передачі інформації. Забезпечення надійності передачі даних і можливість швидкої адаптації до змінних умов є ключовими завданнями при впровадженні енергозберігаючих методів у БСМ в таких складних умовах.

Переваги запропонованих методів енергозбереження для безпроводових сенсорних мереж (БСМ) полягають у значному збільшенні часу автономного функціонування мережі, що є критично важливим у випадках, коли фізичний доступ до сенсорних вузлів для заміни батарей або технічного обслуговування є обмеженим або неможливим. Завдяки оптимізації використання енергетичних ресурсів і впровадженню адаптивних алгоритмів, вузли можуть ефективніше розподіляти енергію, що забезпечує їх тривалу роботу та підвищує надійність системи.

Окрім цього, підвищення надійності та ефективності передачі даних в умовах високого навантаження і можливих загроз є ще однією важливою перевагою запропонованих методів. Використання алгоритмів, які динамічно налаштовують параметри роботи мережі, дозволяє забезпечити стабільну передачу даних навіть під час екстремальних умов, таких як підвищене навантаження на мережу чи спроби її атакувати. Це дозволяє мережі залишатися надійною і функціональною, що є критично важливим для забезпечення постійного моніторингу та підтримки зв'язку.

Запропоновані методи мають широкі можливості практичного застосування, особливо у військових сценаріях моніторингу та розвідки. Завдяки тривалому автономному функціонуванню мережі та її здатності швидко адаптуватися до змін умов середовища, БСМ можуть ефективно використовуватися для спостереження за полем бою, відстеження руху противника або моніторингу навколишнього середовища. Також у повоєнний період ці мережі можуть використовуватися для відновлення критичної інфраструктури, забезпечуючи контроль над станом мостів, доріг, енергетичних об'єктів і водопостачання. Це дозволяє швидше реагувати на можливі проблеми та сприяти ефективному відновленню зруйнованих об'єктів.

Висновки дослідження підсумовують основні досягнення у розробці методів керування енергозбереженням у безпроводових сенсорних мережах (БСМ) та формулюють рекомендації для подальших досліджень. В рамках цього дослідження було проаналізовано та оцінено існуючі підходи до енергозбереження, а також розроблено нові методи, які враховують специфічні умови роботи мережі, зокрема в умовах високого навантаження та військових загроз. Основним досягненням є підвищення ефективності використання енергії у сенсорних вузлах,

що дозволяє значно збільшити час автономного функціонування мережі, зберігаючи при цьому надійність передачі даних. Це має критичне значення для забезпечення стабільності роботи БСМ у військових та повоєнних умовах, коли доступ до джерел живлення або технічного обслуговування може бути обмеженим.

Перспективи розвитку нових методів включають адаптацію під конкретні військові і цивільні сценарії, а також інтеграцію з новітніми технологіями, такими як штучний інтелект і блокчейн, що дозволить підвищити як ефективність, так і безпеку мережі. Це створює можливість для більш ефективного використання БСМ в умовах, де необхідність стабільної та безпечної передачі даних є пріоритетом.

### Список використаних джерел:

1. Akyildiz, I. F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y., & Cayirci, E. Wireless sensor networks: a survey. *Computer Networks*, 2002, 38(4), 393–422. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1389-1286\(01\)00302-4](https://doi.org/10.1016/S1389-1286(01)00302-4)
2. Alippi, C., & Galperti, C. An adaptive system for optimal solar energy harvesting in wireless sensor network nodes. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*. 2008. 55(6). 1742–1750. DOI: <https://doi.org/10.1109/TCSI.2008.916417>.
3. Chen, Y., & Yang, Q. Data aggregation in wireless sensor networks with a novel energy efficient adaptive protocol. *Sensors*. 2014. 14(6). 11566–11588. DOI: <https://doi.org/10.3390/s140611566>.
4. Farooq, M. O., & Kunz, T. Operating systems for wireless sensor networks: A survey. *Sensors*. 2011. 11(6). 5900–5930. DOI: <https://doi.org/10.3390/s110605900>.
5. Ghasemi, A., & Nader-Esfahani, S. A study of energy consumption for clustering protocols in wireless sensor networks. *Wireless Communications and Mobile Computing*. 2009. 9(8). 1047–1060. DOI: <https://doi.org/10.1002/wcm.717>.
6. Heinzelman, W. R., Chandrakasan, A., & Balakrishnan, H. Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks. *Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, 2000, 1–10. DOI: <https://doi.org/10.1109/HICSS.2000.926982>.
7. Kansal, A., Hsu, J., Zahedi, S., Srivastava, M. Power management in energy harvesting sensor networks. *ACM Transactions on Embedded Computing Systems*, 2007.
8. Kansal, A., Srivastava, M. An environmental energy harvesting framework for sensor networks. *International Symposium on Low Power Electronics and Design*, 2003.
9. Kaur, G., & Kaur, P. Energy-efficient clustering in wireless sensor networks based on enhanced harmony search optimization. *Wireless Personal Communications*. 2016. 91(2). 715–734. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11277-016-3493-5>.

10. Li, S., Da Xu, L., & Zhao, S. The internet of things: a survey. *Information Systems Frontiers*. 2015. 17(2). 243–259. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10796-014-9492-7>.

11. Nickel metal hydride battery. Webpage link.

12. Pantazis, N. A., Nikolidakis, S. A., & Vergados, D. D. Energy-efficient routing protocols in wireless sensor networks: A survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. 2013. 15(2). 551–591. DOI: <https://doi.org/10.1109/SURV.2012.062612.00084>.

13. Rahimi, M., Shah, H., Sukhatme, G., Heideman, J., & Estrin, D. Studying the feasibility of energy harvesting in a mobile sensor network. *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 2003.

14. Scrosati, B., Neat, R. J. Lithium polymer batteries. In: *Applications of Electroactive Polymers*. Springer, 1993.

15. Talzi, I., Hasler, A., Gruber, S., Tschudin, C. Permasense: investigating permafrost with a BCC in the Swiss Alps. 4th workshop on Embedded Networked Sensors, 2007.

16. Tong, B., Wang, G., Zhang, W., Wang, C. Node reclamation and replacement for long-lived sensor networks. 6th Annual IEEE Communications Society Conference on Sensor, Mesh, and Ad Hoc Communications and Networks, 2009.

17. Yick, J., Mukherjee, B., & Ghosal, D. Wireless sensor network survey. *Computer Networks*. 2008. 52(12). 2292–2330. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2008.04.002>.

DOI <https://doi.org/10.36059/978-966-397-444-6-52>

**Лісовець С. М.,**

*кандидат технічних наук, доцент,*

*доцент кафедри інженерних систем та технологій*

*Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського*

*м. Київ, Україна*

## **ВИКОРИСТАННЯ КОНТРОЛЕРІВ LOGO! У ВИРОБНИЧІЙ І ПОБУТОВІЙ ДІЯЛЬНОСТІ**

Технічний прогрес у всьому світі передбачає постійно зростаючу “цифровізацію” діяльності людини у виробничій, побутовій і інших сферах. Одним з напрямів такої “цифровізації” є використання програмованих логічних контролерів (ПЛК), які часто представляють собою готові обчислювальні модулі з усіма необхідними входами / виходами і інтерфейсами, основне налагодження яких полягає