

В.В. Гнатушенко

## ДОСЛІДЖЕННЯ СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГІЇ В БЕЗДРОТОВІЙ СЕНСОРНІЙ МЕРЕЖІ ЗАЛЕЖНО ВІД ТРИВАЛОСТІ РОБОЧОГО ЦИКЛУ

*Анотація. У статті розглянуто питання споживання енергії і підвищення енергоефективності вузлів безпроводних сенсорних мереж (БСМ). Виявлено, що основним фактором, що впливає на збільшення ймовірності порушення роботи сенсорної мережі є тривалість робочого циклу та різка зміна інтенсивності трафіка. Збільшення споживання енергії відбувається майже лінійно з робочим циклом, при збільшенні швидкості трафіку середнє споживання енергії спочатку зменшується, а потім збільшується. Отримані залежності дозволяють підвищити якість обслуговування користувачів.*

*Ключові слова: енергоспоживання, бездротова сенсорна мережа, цикл.*

### Постановка проблеми

В останнє десятиліття отримали великий розвиток інформаційні системи на основі бездротових сенсорних мереж (БСМ) [1-2]. Такі системи, що складаються з безлічі мініатюрних вузлів, оснащених малопотужним приймально-передавачем, мікропроцесором, сенсором, можуть зв'язати воєдино глобальні комп'ютерні мережі і фізичний світ. Великий інтерес до вивчення таких мереж обумовлений широкими можливостями їх застосування: моніторинг навколишнього середовища, сейсмічний і структурний моніторинг, автоматизація, пожежна безпека, військова техніка, автомобілебудування, медицина і т. д. Використання в цих галузях традиційних дротових з'єднань не завжди ефективно, в деяких ситуаціях взагалі неможлива прокладка кабелів за технологічними або організаційних причин.

Ключовою особливістю сенсорних мереж є здатність до ретрансляції даних від одного вузла до іншого, що дозволяє передавати інформацію на значну відстань при малій потужності передавачів. Сенсорні вузли мають обмежену обчислювальну потужність, канали передачі даних, що використовуються в бездротових сенсорних мере-

жах, накладають жорсткі обмеження по пропускну́й здатності, а також дальності і стабільності зв'язку. Розробка ефективних моделей і алгоритмів розкладу режимів роботи бездротової сенсорної мережі дозволить скоротити час збору даних з її сенсорних вузлів, а також їх енергоспоживання. Завдяки чому, підвищиться ефективність бездротової сенсорної мережі і її ресурс (час експлуатації до виснаження джерел живлення).

### **Аналіз останніх досліджень**

Більшість існуючих робіт з дослідження споживання енергії в БСМ та аналізу тривалості життя зосереджено на оцінці середніх значень параметрів мережі. В [3-4] оцінюється середня ефективність використання енергії для конкретних протоколів, в аналітичних дослідженнях [5-7] запропоновані моделі споживання енергії. В [8] запропонована модель управління циклами роботи БСМ. Для заданої швидкості надходження подій модель отримує середній термін служби вузла. В [9] розглянуто деякі аспекти підвищення енергоефективності в БСМ: запропоновані співвідношення для розрахунку споживання енергії вузлом, які дозволяють оцінити витрата заряду батареї, використовуючи первинні параметри при різних виконуваних функціях шляхом комбінації.

В [10] наведені варіанти побудови БСМ на основі технології MeshLogic, методика розрахунку середнього енергоспоживання вузлів і терміну служби їх елементів живлення. З огляду на то, що технологія MeshLogic є комплексом апаратного і програмного забезпечення, яка реалізує набір мережевих протоколів для пакетної передачі даних між будь-якими пристроями мережі і є універсальною базою для створення БСМ, то можливо адаптувати методику розрахунку середнього значення енергоспоживання вузлів [10] на мережі, які побудовані на інших програмно-апаратних платформах.

Таким чином залишається актуальною і затребуваною задача зменшення споживання енергії бездротовою сенсорною мережею без урахування топології та протоколів маршрутизації та потреба в розробці нових моделей на базі розкладу функціонування вузлів для вирішення цих питань.

### **Формулювання цілей статті (постановка завдання)**

Мета роботи полягає в розробці імітаційної моделі бездротової сенсорної мережі, дослідженні споживання енергії вузлами в залеж-

ності від різних параметрів (робочого циклі, щільності вузлів мережі і швидкості трафіка) і аналізі результатів моделювання.

### Основна частина

Час життя БСМ обмежено часом життя джерела живлення вузла, і питання зниження споживання енергії як ніколи стає важливим, а ефективність його рішення безпосередньо впливає на подальший розвиток бездротових сенсорних мереж.

Кожен вузол, за винятком стоку, має робочий цикл з тривалістю  $T_r$  і кожен цикл ділиться на дві фази. На першому етапі (прослуховування) вузли прослуховують канал для будь-якого можливого вхідного трафіку. Друга фаза є фазою передачі і сну, в якій вузли спочатку намагаються передати кожен пакет з черги. Після того, як передаються всі пакети, вузол вимикається для економії енергії. Тривалість цих двох фаз позначаються  $T_a$  й  $T_b$ . Робочий цикл дорівнює  $\xi = T_a/T_r$ . Для збільшення тривалості життя мережі бажано мати дуже короткий робочий цикл, і, отже, як правило,  $T_a \ll T_r$ .

Для виявлення залежності між параметрами мережі проводилося моделювання з різними значеннями інтенсивності трафіку, робочого циклу і щільністю вузлів, а результати порівнювалися з аналітичними розрахунками. Інтенсивність руху трафіку становила 0,05 пакетів/хв і ступінь вузла 13,3. Середнє значення енергоспоживання вузлом, який розташований в 27 м від стоку, протягом 1 години наведені на рисунках 1-2.

Збільшення споживання енергії відбувається майже лінійно з робочим циклом (рисунок 1а), хоча споживання енергії пов'язане з іншими мережевими і протокольними параметрами (рисунок 1б і 1в), проте тривалість робочого циклу є основним фактором, що впливає на споживання енергії. Коли щільність збільшується (рисунок 1б) вузол в середньому витрачає менше енергії, хоча ця тенденція менш очевидна, коли ступінь вузла вище 13. Це пов'язано з тим, що якщо щільність вузлів низька, то при передачі пакетів кожен вузол повинен чекати протягом тривалого часу, перш ніж інші вузли в області досяжності прокинуться, і як наслідок споживається більше енергії.

При збільшенні швидкості трафіку (рисунок 1в), середнє споживання енергії спочатку зменшується, а потім збільшується. Причина полягає в тому, що коли кожен вузол передає пакети, він не відповідає на інші запити. При більш високій швидкості трафіку,

збільшується кількість вузлів, які передають дані. Такі вузли повинні чекати протягом більш тривалого часу і збільшується енергія, витрачена на передачу. При помірній швидкості трафіку є досить доступних вузлів. Вузли, що передають, можуть закінчити свої передачі і «заснути», при цьому ефективно заощаджується енергія. При низькій швидкості трафіку ймовірність того, що вузли передадуть пакет і «заснуть», є низькою. Отже, споживання енергії менше (найкраще рішення) при помірній швидкості трафіку. Запропонована система забезпечує точність результатів для середнього споживання енергії з похибкою менш 3,5%. Модель забезпечує менш точні результати при високій швидкості трафіку. Для визначення впливу швидкості трафіку рівній 0,05 пакет/хв, робочого циклу – 0,2 і ступеня вузла – 13,3 проведено моделювання, результати якого порівняні з аналітичними розрахунками.

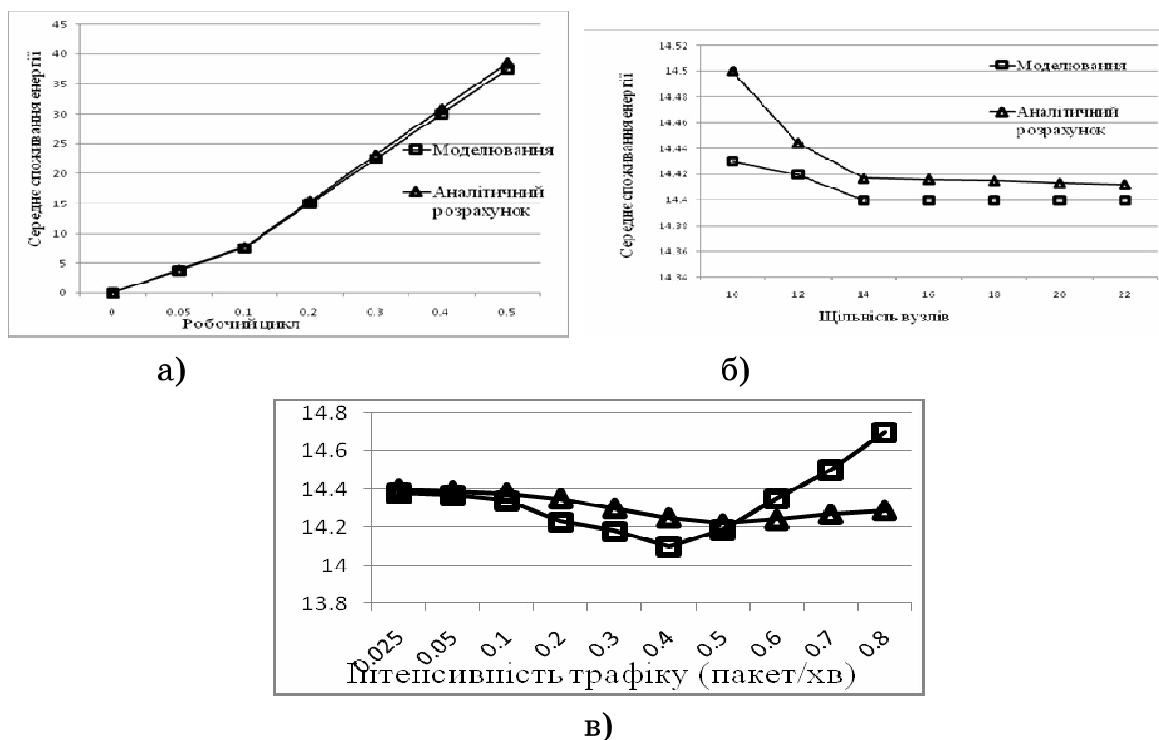


Рисунок 1 - Середнє споживання енергії (умовних одиницях) протягом 1 години для вузла розташованого в 27 м від стоку

Дисперсія енергоспоживання менш чутлива до робочого циклу (рисунок 2а). Проте, вплив щільності вузлів в мережі і швидкості трафіку вище (рисунок 2б і 2в). Дисперсія збільшується приблизно в 13 разів, коли ступінь вузла знижується з 22,2 до 8,89 і збільшується приблизно в 180 разів, коли швидкість трафіку збільшується від

0.025 до 0,6 пакетів/хв.

Коли щільність збільшується (рисунок 2б) вузол в середньому витрачає менше енергії, хоча ця тенденція менш очевидна, коли ступінь вузла вище 13. Це пов'язано з тим, що якщо щільність низька, то при передачі пакетів кожен вузол повинен чекати протягом тривалого часу, перш ніж інші вузли в області прокинутися в області досяжності, відповідно споживається більше енергії. Дисперсія енергоспоживання також зменшується (рисунок 2б), так як більш висока щільність вузлів збільшує ймовірність переданих пакетів з коротким часом передачі. Таким чином, низька дисперсія часу передачі призводить до низької дисперсії споживання енергії. Дисперсія споживання енергії монотонно збільшується з більш високою швидкістю трафіку (рисунок 2в). Це пов'язано з тим, вузли з більшою ймовірністю виконують операції, і періоди передачі коротші. Таким чином, дії є більш однорідними і дисперсія споживання енергії нижче. Коли трафік "важчає", вузли виконують передачу сигналів з більш високою ймовірністю і передають їх протягом більш тривалих періодів часу. Таким чином, вузли, які виконують дії швидше за інших, в результаті мають більш високу дисперсію енергоспоживання. Для дисперсії помилка вище, але менше, ніж 2,1%.

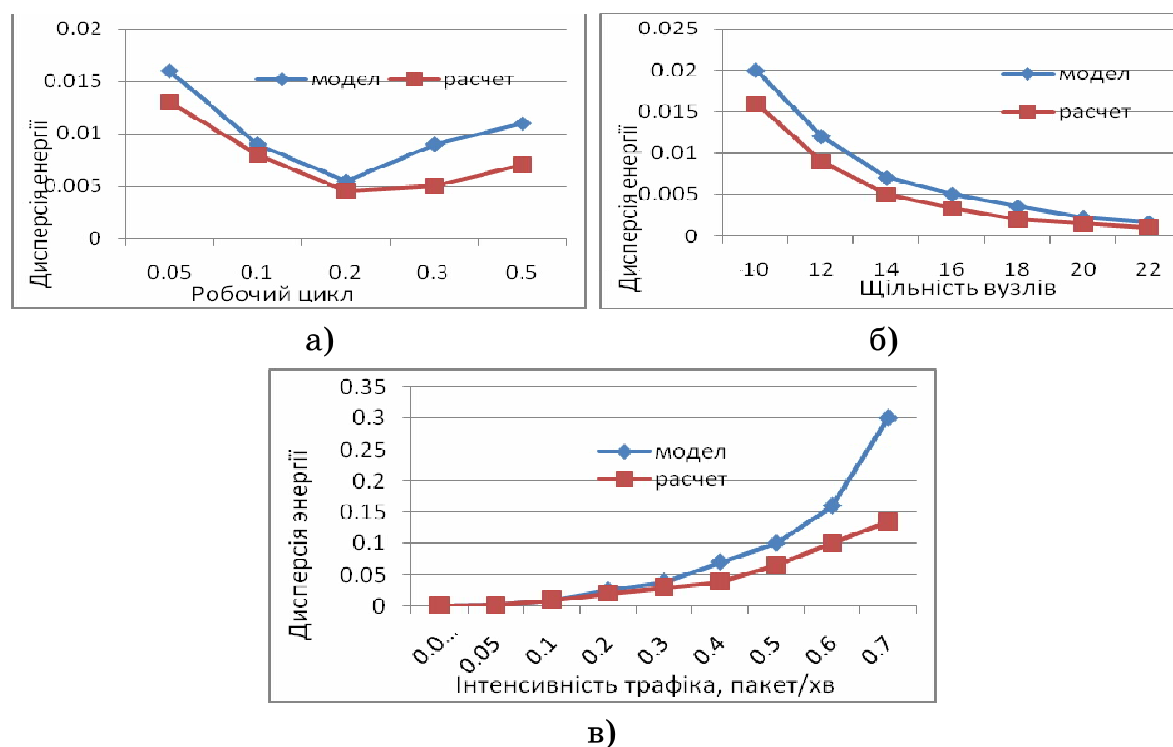


Рисунок 2 – Дисперсія споживання енергії (A<sup>2</sup>c<sup>2</sup>) протягом 1 години для вузла, розташованого в 27 м від стоку

**Висновки та перспективи подальших досліджень**

Ключовий параметр якості роботи бездротових сенсорних мереж – енергоспоживання, тому питання його розрахунку при створенні подібних систем виникає одним з перших. У статті проведено аналіз енергоспоживання вузлів безпроводних сенсорних мереж в залежності від розкладу функціонування та параметрів трафіку. Скорочення робочого циклу знижує споживання енергії, збільшення або зменшення швидкості трафіку на 0,05 пакет/хв призводить до зменшення ймовірності досягнення поставленого терміну служби всієї мережі. Запропонована методика забезпечує результати для середнього споживання енергії з похибкою менш 3,5%, для дисперсії помилка не перевищує 2,1%. Дана робота корисна при виборі технічного забезпечення для побудови бездротових мереж.

**ЛІТЕРАТУРА**

1. Кучерявый, А.Е. Самоорганизующиеся сети / А.Е. Кучерявый, А.В. Прокопьев, Е.А. Кучерявый. – СПб : Любавич, 2011. – 312 с.
2. Kumar, V. Energy efficient clustering algorithms in wireless sensor networks: A survey/ V. Kumar, S. Jain, S. Tiwari// International Journal of Computer Science Issues.– 2011.–vol.8.–p.259-268.
3. Buettner, M. X-MAC: a short preamble MAC protocol for duty-cycled wireless sensor networks/ M. Buettner, G. V. Yee, E. Anderson, R. Han// In Proc. of ACM SenSys 2006, Boulder, CO, 2006. – p.1046-1067.
4. Muhammad Mahtab, A. A Hybrid Model for Accurate Energy Analysis of WSN Nodes/ A. Muhammad Mahtab, B. Olivier, M. Daniel, A. Thomas, S. Olivier// EURASIP Journal on Embedded Systems.– 2011.– p.203-218.
5. Boughanmi, N. A new routing metric for satisfying both energy and delay constraints in wireless sensor networks/ N. Boughanmi, Y.Q. Song// Journal of Signal Processing Systems.– 2008.–vol.51(2).–p.137–143.
6. Dargie, W. Modelling the energy cost of a fully operational wireless sensor network/ W. Dargie, X. Chao, M.K. Denko// Telecommunication Systems.– 2010.–vol.44(1-2).–p.3–15.
7. Vikt. Hnatushenko The distribution of energy consumption in wireless networks to anycast protocol. Power Engineering and Information Technologies in Technical Objects Control – 2016 – p. 195-201
8. Jung, D. Sensor node lifetime analysis: Models and tools/D. Jung, T. Teixeira, A. Savvides.//ACM Trans. on Sensor Networks, 2009 –vol.5(1).– p.1–33.
9. Власова, В. А. Анализ энергоциклов узлов беспроводных сенсорных сетей [Текст] / В. А. Власова, А. Н. Зеленин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – Т. 3, № 9 (57). – С. 13–17.
10. Баскаков, С. Оценка энергопотребления беспроводных узлов в сетях MeshLogic [Текст] / С. Баскаков // Беспроводные технологии. – 2010. – № 1. –С. 28–31.