

**Структурна і параметрична оптимізація локальної підсистеми інженерної мережі/ Федоров М. В., Хренов О. М.** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 20(1242). – С.48–52. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

**Structural and parametric optimization of the local subsystem of the engineering network/ Fedorov N., Khrenov A.** // Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 20 (1242). – P.48–52. – Bibliogr.:10. – ISSN 2079-5459

*Сведения об авторах / Відомості про авторів / About the Authors*

**Федоров Микола Вікторович** – кандидат технічних наук, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, доцент кафедри прикладної математики та інформаційних технологій; вул. Маршала Бажанова, 17, м. Харків, Україна, 61204; e-mail: [nickvicf@gmail.com](mailto:nickvicf@gmail.com).

**Федоров Николай Викторович**, кандидат технических наук, Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А. Н. Бекетова, доцент кафедры прикладной математики и информационных технологий; ул. Маршала Бажанова, 17, г. Харьков, Украина, 61204; e-mail: [nickvicf@gmail.com](mailto:nickvicf@gmail.com).

**Fedorov Nikolaj** – PhD, O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, associate professor of the Department of Applied Mathematics and Information Technologies; str., Marshal Bazhanov, 17, Kharkiv, Ukraine, 61204; E-mail: [xrenov.aleksandr@ukr.net](mailto:xrenov.aleksandr@ukr.net).

**Хренов Олександр Михайлович** – кандидат технічних наук, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, доцент кафедри прикладної математики та інформаційних технологій; вул. Маршала Бажанова, 17, м. Харків, Україна, e-mail: [xrenov.aleksandr@ukr.net](mailto:xrenov.aleksandr@ukr.net).

**Хренов Александр Михайлович**, кандидат технических наук, Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А. Н. Бекетова, доцент кафедры прикладной математики и информационных технологий; ул. Маршала Бажанова, 17, г. Харьков, Украина, 61204; e-mail: [xrenov.aleksandr@ukr.net](mailto:xrenov.aleksandr@ukr.net).

**Khrenov Alexander** – PhD, O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, associate professor of the Department of Applied Mathematics and Information Technologies; str., Marshal Bazhanov, 17, Kharkiv, Ukraine, 61204; E-mail: [xrenov.aleksandr@ukr.net](mailto:xrenov.aleksandr@ukr.net).

УДК 621.396

**В. А. РОМАНЮК, О. В. ЖУК, Д. В. ТКАЧЕНКО**

## УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯМ В БЕЗПРОВОДОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ

У статті проведено аналіз методів управління витратами енергоресурсу вузлів, які використовуються в безпроводових сенсорних мережах. Проведена їх класифікація та запропоновано напрямки їх подальшого вдосконалення. Проведені дослідження показали, що застосування розглянутих методів дозволяє, в середньому, збільшити тривалість роботи мережі в 1, 5 ... 2 рази і зменшити середню потужність передачі на сайт ретрансляції на 10 %.

**Ключові слова:** безпроводні сенсорні мережі, методи управління витратами енергоресурсу вузлів.

В статье проведен анализ методов управления расходом энергоресурса узлов, используемых в беспроводных сенсорных сетях. Проведена их классификация и предложены направления их дальнейшего совершенствования. Проведенные исследования показали, что применение рассмотренных методов позволяет в среднем увеличить продолжительность работы сети в 1, 5 ... 2 раза и снизить среднюю мощность передачи на место повторной передачи на 10 %.

**Ключевые слова:** беспроводные сенсорные сети, методы управления затратами энергоресурса узлов.

In the article the analysis of methods of energy resources management of nodes used in wireless sensory networks is carried out. Their classification has been carried out and directions of their further improvement are offered. The conducted studies have shown that the application of the considered methods allows, on average, to increase the duration of the network operation in 1, 5 ... 2 times and reduce the average transmission power per retransmission site by 10%. Synthesis of the optimal method for controlling the energy losses of nodes (or their aggregate) will be determined by the characteristics of a specific network and the decisions taken to implement other network management functions.

**Keywords:** wireless sensory networks, methods for controlling the cost of energy resources of nodes.

**Вступ.** Безпроводні сенсорні мережі (Wireless Sensor Network) – розподілені мережі, що складаються з маленьких вузлів (сенсорів), з інтегрованими функціями моніторингу навколишнього середовища, обробки і передачі даних. [1].

БСМ відносяться до класу радіомереж, що самоорганізуються [2]. Однак вони мають свої особливості: обмеженість ресурсів вузлів мережі (за пам'яттю, продуктивністю процесору, потужністю радіопередавача), мала

дальність та пропускна здатність каналів радіозв'язку між вузлами, концентрація трафіку навколо шлюзу тощо. Тип вузлів (стаціонарний, рухомий), кількість параметрів моніторингу, розмірність мережі, тип трафіка, організація управління (централізована, децентралізована або гібридна) залежить від призначення БСМ та її функцій.

В. А. Романюк, О. В. Жук, Д. В. Ткаченко. 2017

Електроживлення сенсорних вузлів у більшості випадків здійснюється від батарей (їх ємність визначає як параметри процесора, пам'яті, пристрою моніторингу так і потужність прийомопередавача) відпо-

відно до цього в системі управління БСМ виділена підсистема управління витратами енергоресурсу вузлів (рис. 1).

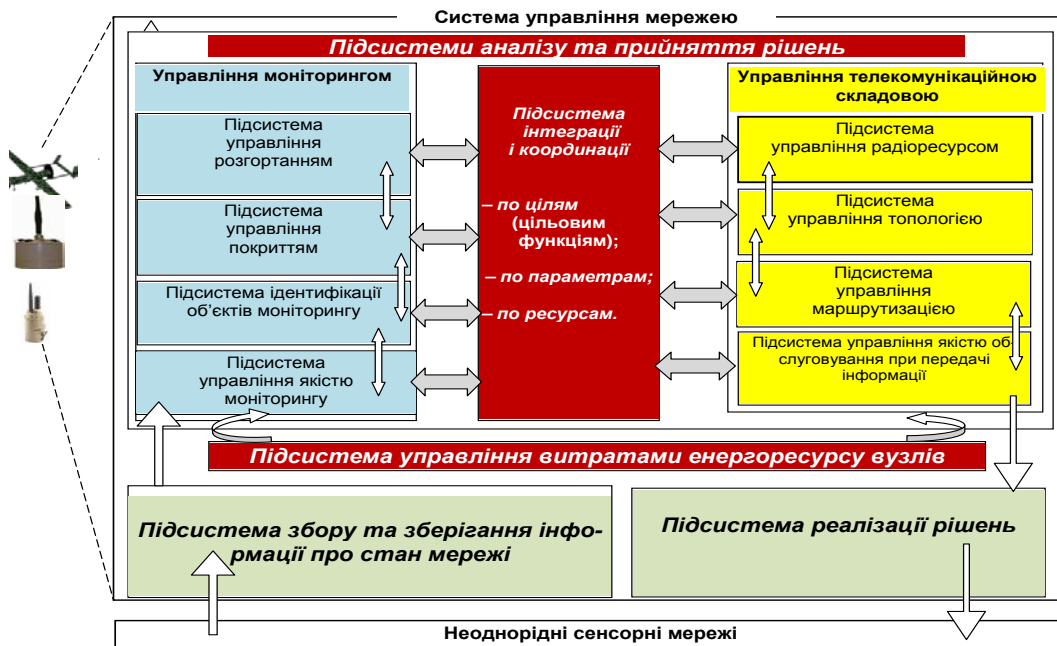


Рис. 1 – Функціональна модель системи управління БСМ

Управління втратами енергоресурсу вузлів – мінімізація споживаної енергії вузлами мережі (максимізація тривалості функціонування мережі  $T_{ФБСМ}$  – часу роботи мережі до моменту відмови вузла через нульову ємність його батарей).

Управління витратами енергоресурсу вузлів може бути реалізоване за різними функціями управління і рівнями еталонної моделі взаємодії відкритих систем (фізичному, каналному, мережевому, прикладному) методами управління потужністю передачі і методами збереження енергії батарей (рис. 2).

**Методи управління потужністю передачі.** Зменшення потужностей передач між сусідніми вузлами. Зменшення потужностей передач між сусідніми вузлами із збереженням необхідних параметрів радіоканалу: необхідного рівня відношення сигнал/перешкода нормованого на біт  $SINR = E_b / N_0$  (де  $E_b$  – енергія сигналу,  $N_0$  – спектральна потужність шуму), вірогідність бітової помилки (BER) та ін. Кожен вузол зберігає „історію” сигналів, що приймаються, від сусідніх вузлів.

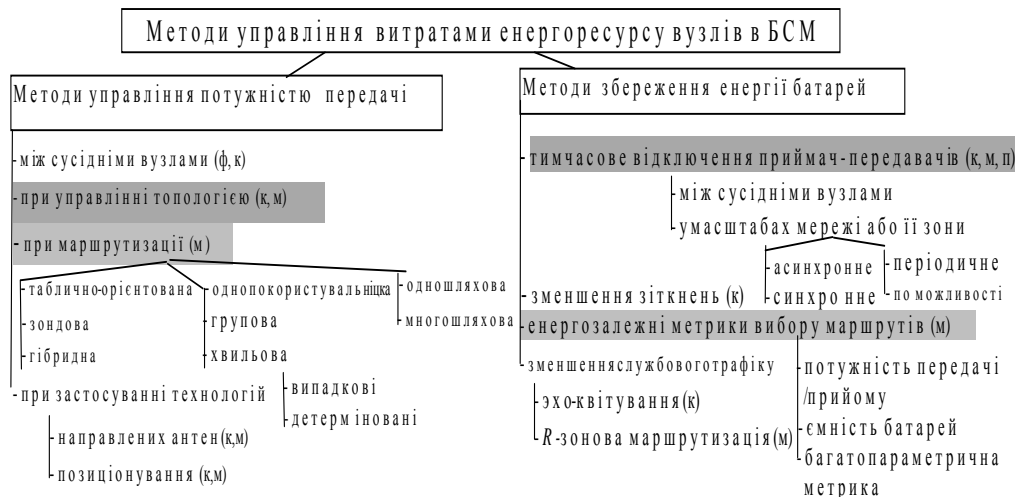


Рис. 2 – Методи управління витратами енергоресурсу вузлів (ф – фізичний, к – каналний, м – мережевий, п – прикладний рівні еталонної моделі OSI)

Нехай мережа являє собою  $N$  випадково розташованих вузлів, максимальна потужність передавача  $i$ -го вузла  $P_i^{\max}$ . Тоді для успішної передачі повідомлення від вузла  $i$  до  $j$  необхідно, щоб відношення SINR був більше певного порогу  $\beta$ , що визначає BER [3]

$$\text{SINR} \beta = \frac{P_i G_{ij}}{\sum_{k \neq j} P_k G_{kj} + \eta_j} \geq \beta, \quad (1)$$

де  $i, j, k \in N$ ,  $P_i$  – потужність передачі  $i$ -го вузла,  $G_{ij} = k_a F d_{ij}^{-\alpha}$  – величина загасання між вузлами  $i-j$  ( $k_a$  – коефіцієнт, що враховує характеристики антен;  $F$  – множник ослаблення;  $d$  – відстань,  $\alpha = 2 \dots 4$  – ступінь втрати потужності),  $\eta_j$  – спектральна потужність шуму приймача  $j$ -го вузла.

Цикл управління потужністю передачі схожий з регулюванням потужності, яка використовується в стільниковій мережі з кодовим розділенням каналів. Якщо рівень сигналу перевищує поріг, то потужність передачі зменшується. Якщо час очікування повідомлення для протоколу каналного рівня перевищений, то передача здійснюється з більшою потужністю. Регулювання потужності передачі в каналі  $(ij)$  здійснюється за наступним ітераційним правилом [3]

$$P_{ij}(n+1) = \min(P_i^{\max}, \frac{\beta}{\text{SINR}_{ij}(n)} P_{ij}(n)),$$

де  $n$  – номер ітерації.

Наприклад, протокол PCM (Power Control MAC) припускає, що відправник передає запит на передачу (RTS) і одержувач згоду (CTS) з однаковою потужністю, проте передача інформації (DATA) і квитанції (ACK) здійснюється мінімальною потужністю необхідною для безпомилкового прийому [4]. Хоча необхідно відзначити, що для уникнення можливих зіткнень в зоні виявлення під час передачі DATA потужність передачі збільшується до максимального значення. Результати моделювання показали, що регулювання потужності передачі дозволяє зменшити витрати енергії на 10–20 % при збільшенні пропускної спроможності до 15 % [4].

б). *При управлінні топологією сенсорної мережі.* Управління топологією припускає перерозподіли потужностей передач вузлів  $P_i$  і/або спрямованості їх антен  $\gamma_i$  [5, 6]. Збільшення потужностей передач вузлів приводить до збільшення вірогідності успішної передачі пакетів (за рахунок збільшення SINR), скорочення часу їх доставки і об'єму службової маршрутною інформації (унаслідок зменшення діаметру мережі), проте вимагає більшої витрати енергії батарей і визначає високий рівень взаємних перешкод (що призводить до різкого зниження пропускної спроможності мережі). Зменшення потужності передачі дозволяє зменшити витрати енергії, збільшити пропускну спроможність мережі

(за рахунок просторового рознесення каналів і зниження рівня взаємних перешкод), але приводить до збільшення часу доставки повідомлення і об'єму службового трафіку.

Однією з множини цілей управління топологією  $Z_k, k = \overline{1, K}$  є мінімізація потужностей передач вузлами мережі із збереженням її зв'язності і заданого рівня SINR [4]

$$\min_{P_{ij}} \beta \sum_{\forall i, j} P_{ij}, \text{SINR}_{ij} > \beta \quad i, j \in N \quad i \neq j.$$

Реально це полягає в колективній роботі вузлів за погодженням кількості сусідів за певними критеріями. Запропоновано ряд децентралізованих алгоритмів побудови енергоефективної топології BPS (planar power efficient structure) [7], COMPOW (COMmon POWer) [8] і др.

Наприклад, протокол BSP, використовуючи систему позиціонування, буде планарний граф, що має мінімальну сумарну потужність передачі за всіма маршрутами мережі. Протокол COMPOW припускає оптимізацію загальної потужності передачі в мережі за допомогою зміни її зв'язності (менша потужність передачі – менша зв'язність). У [8] аналітично доведено, що оптимізація пропускної спроможності вузла  $O(1/\sqrt{n \log n})$  досягається при потужності передачі вузла, яка визначається верхньою межею  $O(1/\sqrt{n})$ .

в). *При маршрутизації.* Завданням методу маршрутизації є створення, зберігання і підтримання маршруту(ів) заданої якості між відправником і адресатом. У якості критерію оцінки маршруту можуть виступати наступні параметри: енергоємність батарей, ширина смуги пропускання каналу, час затримки передачі пакетів у мережі та ін. Аналіз методів маршрутизації наведено в четвертому розділі.

г). *При застосуванні направлених антен і системи позиціонування* [7]. Застосування направлених антен і системи позиціонування дозволяє знизити рівень взаємних перешкод і збільшити енергетику радіоканалів (при цьому зменшення потужності, що витрачається, може досягати 60 %).

**Методи збереження енергії батарей сенсорних вузлів.**

а). *Тимчасове відключення приймача-передавача вузла* (так званий пасивний режим або режим „сон”). Для сучасних бездротових карт зменшення потужності, що витрачається, при різних режимах роботи вузла сягає 95 % (наприклад, для Lucent IEEE 802.11 WarePC Card витрата енергії для режимів “сон”/пошук/прийм/передача складає 0,06:0,84:0,97:1,33 Вт [9]). Необхідно відзначити, що пасивний режим вже стандартизований для повнозв'язних (кожен з кожним) безпроводних мереж в протоколі IEEE 802.11 PCF (Power Save Mode).

Децентралізований протокол PAMAS (Power Aware Multiple-Access Protocol) [10], який реалізує пасивний режим між сусідніми вузлами, полягає в наступному. Вузол, виявивши, що передаваний пакет

призначений не йому, відключається на час передачі даного пакету, що повідомляється в його заголовку. Даний протокол ефективний при високому трафіку і щільності вузлів (дозволяє зменшити витрату енергоресурсу 10–50 %) і менш ефективний у високошвидкісних мережах (через малий час передачі повідомлень виграш в застосуванні пасивного режиму зменшується за рахунок частого перемикання режимів). Окрім цього його недоліками є: наявність окремого управляючого каналу для передачі службової інформації, а також непередбачуваність затримки передачі інформації.

б). *Тимчасове відключення приймачів-передавачів* сенсорних вузлів. Тимчасове відключення приймачів-передавач вузлів в масштабах мережі або її зони може здійснюватися: синхронно або асинхронно, періодично або за можливістю.

Синхронний пасивний режим. Припускає глобальну синхронізацію вузлів мережі. Синхронізація відключення вузлів може бути здійснена поєднанням із зондовою маршрутизацією (хвильовою розсилкою управляючої інформації, наприклад, протокол Puls [11]) або кластеризацією мережі (розбиттям мережі на зони з виділенням головних вузлів зони з привласненням їм функцій управління). Наприклад, протокол GAF (Geographical Adaptive Fidelity), що припускає використання системи позиціонування, розбиває мережу на географічні квадрати з виділенням головних вузлів, керуючих режимами вузлів в кожному квадраті [12]. Недоліками даного методу є: необхідність фази синхронізації (що досить проблематично в умовах динамічної мережі), а також додатковий службовий трафік і можливість затримки передачі даних. Окрім цього, фаза синхронізації пасивного режиму відрізняється від завдання тимчасової синхронізації мережі, яка може бути здійснена при використанні устаткування позиціонування (GPS- приймачів).

Асинхронний режим. Може бути реалізований незалежно кожним вузлом мережі з узгодженням часу відключення з сусідніми вузлами. Його недоліком є значний вплив на етапі побудови маршруту і час доставки пакету.

в). *Зменшення числа повторних передач*, викликаних зіткненнями пакетів. Зменшення числа повторних передач, викликаних зіткненнями пакетів, тобто методи каналного доступу, що забезпечують мінімум зіткнень пакетів, зменшують енергію, що витрачається. Тому методи часового розділення каналів (TDMA) або навіть гібридні (TDMA/CDMA) з погляду енергозбереження, кращі за методи випадкового доступу.

г). *Вибір маршрутів за метриками*, що враховують витрату енергоресурсу вузлів при передачі/прийомі повідомлень і/або місткість батарей [13, 15].

Для зменшення витрат енергії батарей при побудові маршрутів можуть бути використані різні енергозберігаючі метрики: потужність, що витрачається на передачу (прийом); місткість батарей вузлів; багато-параметрична метрика (потужність передачі вузлів, смність батарей) та ін.

1. Метрика – потужність, що витрачається на передачу/ прийом вузла. Ідея даного методу полягає в наступному: залежність необхідної потужності передачі від відстані носить нелінійний характер і отже маршрут, що складається з декількох „коротких” ретрансляцій, витрачає менше енергії, ніж з „довгих” –  $P_{ab} > P_{ac} + P_{cd}$  (рис. 3). Тому в якості метрики вартості радіоканалу  $C_{ij}$  можна використовувати мінімальний рівень потужності передачі  $P_{ij}^{\min}$  між вузлами  $i$  та  $j$ , що забезпечує задане значення вірогідності бітової помилки (1).

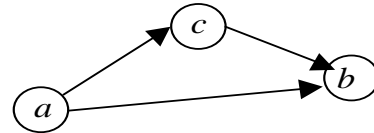


Рис. 3 – Приклад мережі

Окрім цього  $C_{ij}$  повинна враховувати потужність  $P^{no}$ , що витрачається на прийом і обробку повідомлень (зокрема службових, наприклад, для протоколу випадкового доступу – це пакети „запит на передачу” CTS, „згода” RTS, „квитанція” ACK), а також їх розмір  $L$ :

$$C_{ij}^p = (P_{ij}^{\min} + P_j) (L_c + L_{CTS}) + (P_{ji}^{\min} + P_i) (L_{ACK} + L_{RTS}), j \in N_i. \quad (2)$$

Тоді загальна вартість  $C_m^p$  передачі за маршрутом  $m$  визначається як

$$C_m^p = \sum_{i=1}^{r-1} C_{ij}^p, \forall i, j \in m, i \neq j, j \in N_i,$$

де  $r$  – число вузлів в маршруті  $m$ . Тому маршрут  $m_{ab}^*$  з мінімальною потужністю передачі/прийому між відправником  $a$  і адресатом  $b$  визначається

$$m_{ab}^* = \arg \min_{m \in M_{ab}} C_m^p,$$

де  $M_{ab}$  – множина всіх можливих маршрутів між  $a$  і  $b$ .

Проте, оскільки потужність передачі залежить від відстані ( $d^{-\alpha}$ ), то запропонований метод вибиратиме маршрут з великим числом ретрансляцій (в порівнянні з критерієм мінімуму ретрансляцій). Це приведе до збільшення: часу доставки пакету, кількості зіткнень (для протоколів випадкового доступу), об'єму службового трафіку і вірогідності нестабільності маршруту (через переміщення вузлів). Тобто використання даної метрики доцільне у разі значної різниці витрати енергії при режимах передачі/прийом. Можливим рішенням також є обмеження кількості ретрансляцій граничним

значенням  $r^{\max}$ , яке може бути визначено на етапі проектування мережі.

2. Метрика – ємність батарей вузлів. Маршрутизація з використанням метрики (2) дозволяє зменшити енергоспоживання вузлів, проте вона не враховує їх енергетичні можливості. Нехай  $e_i^t$  – величина ємності батареї  $i$ -го вузла у момент часу  $t$ . Визначимо  $f_i(e_i^t) = 1/e_i^t = 0, \dots, 100$ , як функцію вартості ємності його батареї (зменшення ємності – збільшення вартості). Вартість ємності батарей для маршруту  $m$ , що складається з  $r$  вузлів, визначається

$$C_m^6 = \sum_{i=1}^{r-1} f_i(e_i^t), \forall i \in m. \quad (3)$$

Тоді для знаходження між вузлами  $a-b$  маршруту з максимальною ємністю батареї  $m_{ab}^*$  необхідно обчислити

$$m_{ab}^{*6} = \arg \min_{m \in M_{ab}} C_m = \arg \min_{m \in M_{ab}} \sum_{i=1}^{r-1} f_i(e_i^t),$$

де  $M_{ab}$  – множина всіх можливих маршрутів між вузлами  $a$  та  $b$ .

3. Багатопараметрична метрика – потужність передачі вузлів, ємність батарей та ін. Недоліком розглянутої метрики (3) є те, що підсумовування вартостей вузлів не дозволяє відстежити їх критичні ємності. Наприклад, на рис. 4 показано два можливі маршрути між відправником і адресатом. Хоча вузол 3 і має найменшу ємність батареї, але загальна вартість першого маршруту менша другого ( $80 < 90$ ) і, відповідно, для маршрутизації пакетів буде вибраний перший маршрут.

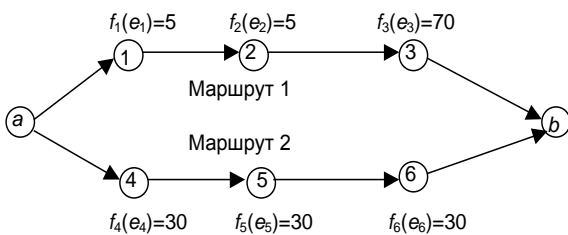


Рис. 4 – Приклад мережі

Тому вартість маршруту  $m$  можна визначити як мінімальна ємність батареї вузла (максимальна вартість) у даному маршруті

$$C_m^6 = \max_{i \in m} f_i(e_i^t). \quad (4)$$

Проте (4) не гарантує отримання маршруту з мінімальною потужністю передачі. Позначимо  $M_{ab}^e$  – множина всіх маршрутів між відправником  $a$  і адресатом  $b$ , що задовольняють наступній умові: всі вузли у момент часу  $t$  мають вартість ємності

батарей більшу за допустиме значення  $f_i(e_i^t) \geq f_i(e_0^t)$ .

Отримати згортку метрик (за потужністю передачі і ємністю батарей) через їх різноманітність важко, тому, залежно від величини ємності батарей вузлів, вибір маршруту необхідно здійснювати за однією з метрик

$$m_{ab}^* = \begin{cases} \arg \min_{m \in M_{ab}} \sum_{i=1}^{r-1} C_{ij}^p, & 0 \quad M_{ab}^e \neq \\ \arg \min_{m \in M_{ab}} (\max_{i \in m} f_i(e_i^t)) & \text{в інших випадках} \end{cases}$$

де  $i, j \in m$ ,  $i \neq j$ ,  $j \in N_i$  – сусіди вузла  $i$ . При функціонуванні мережі величина порогу  $f_i(e_0^t) = 0 \dots 100$  повинна поступово зменшуватися для встановлення балансу ємностей батарей у вузлах мережі.

Аналіз існуючих методів управління втратами енергоресурсу вузлів на мережевому рівні показав, що їхнє використання в БСМ характеризується рядом недоліків: використання однієї метрики пошуку маршруту, неможливість роботи з різними типами трафіка, високі вимоги до апаратних ресурсів та ін.

д). Зменшення службового трафіку за рахунок зменшення числа службових повідомлень:

на каналному рівні – виключення частини службових повідомлень RTS, CTS або ACK, наприклад, застосування ехо-квітування (вузол, що передає пакет, „чує” його ретрансляцію сусідом [15]).

на мережевому рівні – застосування  $R$ -зонного гібридного методу маршрутизації, що акумулює достоїнства двох основних методів побудови маршрутів (табличного і зондового). Даний метод припускає виділення кожним  $i$ -м вузлом так званої маршрутною  $R_i$ -зони, де  $R$  – кількість ретрансляцій [16]. Побудова маршрутів всередині  $R_i$  здійснюється табличним способом (обмін службовою інформацією періодичний і за подіями), а за її межами – зондовим (в міру необхідності за наявності трафіка). Адаптація розмірів  $R_i$  до ситуації на мережі дозволить мінімізувати об'єм службового трафіку і тим самим зменшити витрату енергоресурсу [17].

**ВИСНОВОК.** Проведений вище аналіз показав що, управління витратами енергоресурсу вузлів повинне здійснюватися за функціями управління на різних рівнях еталонної моделі взаємодії відкритих систем. Проведені дослідження показали, що застосування розглянутих методів дозволяє в середньому збільшити тривалість функціонування мережі в 1, 5...2 рази і зменшити середню потужність передачі на одну ділянку ретрансляції на 10%. Синтез оптимального методу управління втратами енергоресурсу вузлів (або їх сукупності) визначатиметься характеристиками конкретної мережі і ухваленими рішеннями з реалізації інших функцій управління мережею.

## Список літератури:

1. Жук, О. В. Методологічні основи управління перспективними неоднорідними безпроводовими сенсорними мережами тактичної ланки управління військами [Текст]: IX наук.-практ. конф. / О. В. Жук, В. А. Романюк, О. Я. Сова // Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення. – К.: ВПІ НТУУ „КПІ”, 2016. – С. 34–44.
2. Жук, О. В. Архітектура системи управління мережами MANET [Текст]: V Міжнар. наук.-тех. конф. / О. В. Жук, О. Я. Сова, В. А. Романюк // Проблеми телекомунікацій – 2011. – К.: ІТС НТУУ „КПІ”, 2011. – С. 77.
3. ElBatt, T. Joint Scheduling and Power Control for Wireless Ad Hoc Networks [Text] / T. ElBatt, A. Ephremides // IEEE Transactions on Wireless Communications. – 2004. – Vol. 3, Issue 1. – P. 74–85. doi: [10.1109/twc.2003.819032](https://doi.org/10.1109/twc.2003.819032)
4. Jung, E.-S. A power control MAC protocol for ad hoc networks [Text] / E.-S. Jung, N. H. Vaidya // Proceedings of the 8th annual international conference on Mobile computing and networking – MobiCom '02. – 2002. doi: [10.1145/570649.570651](https://doi.org/10.1145/570649.570651)
5. Миночкин, А. И. Управление топологией мобильной радиосети [Текст] / А. И. Миночкин, В. А. Романюк // Зв'язок. – 2003. – № 2. – С. 28–33.
6. Song, W.-Z. Localized algorithms for energy efficient topology in wireless ad hoc networks [Text] / W.-Z. Song, Y. Wang, X.-Y. Li // Proceedings of the 5th ACM international symposium on Mobile ad hoc networking and computing – MobiHoc '04. – 2004. doi: [10.1145/989459.989473](https://doi.org/10.1145/989459.989473)
7. Nasipuri, A. Power consumption and throughput in mobile ad hoc networks using directional antennas [Text] / A. Nasipuri, K. Li, U. R. Sappidi // Proceedings. Eleventh International Conference on Computer Communications and Networks. – 2002. doi: [10.1109/iccncn.2002.1043137](https://doi.org/10.1109/iccncn.2002.1043137)
8. Narayanaswamy, S. Power control in ad-hoc networks: Theory. Architecture, algorithm and implementation of the COMROW protocol [Text] / S. Narayanaswamy, V. Kawadia, R. S. Sreenivas, P. R. Kumar // In Proceedings of EuroWireless'02. – 2002. – P. 156–162.
9. Feeney, L. M. Investigating the energy consumption of a wireless network interface in an ad hoc networking environment [Text] / L. M. Feeney, M. Nilsson // Proceedings IEEE INFOCOM 2001. Conference on Computer Communications. Twentieth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Society (Cat. No.01CH37213). – 2001. doi: [10.1109/infcom.2001.916651](https://doi.org/10.1109/infcom.2001.916651)
10. Singh, S. PAMAS – power aware multi-access protocol with signalling for ad hoc networks [Text] / S. Singh, C. S. Raghavendra // ACM SIGCOMM Computer Communication Review. – 1998. – Vol. 28, Issue 3. – P. 5–26. doi: [10.1145/293927.293928](https://doi.org/10.1145/293927.293928)
11. Awerbuch, B. The pulse protocol: energy efficient infrastructure access [Text] / B. Awerbuch, D. Holmer, H. Rubens // IEEE INFOCOM 2004. – 2004. doi: [10.1109/infcom.2004.1357031](https://doi.org/10.1109/infcom.2004.1357031)
12. Heinzelman, W. R. Adaptive protocols for information dissemination in wireless sensor networks [Text] / W. R. Heinzelman, J. Kulik, H. Balakrishnan // Proceedings of the 5th annual ACM/IEEE international conference on Mobile computing and networking – MobiCom '99. – 1999. doi: [10.1145/313451.313529](https://doi.org/10.1145/313451.313529)
13. Toh, C.-K. Maximum battery life routing to support ubiquitous mobile computing in wireless ad hoc networks [Text] / C.-K. Toh // IEEE Communications Magazine. – 2001. – Vol. 39, Issue 6. – P. 138–147. doi: [10.1109/35.925682](https://doi.org/10.1109/35.925682)
14. Zhu, J. A comprehensive minimum energy routing scheme for wireless ad hoc networks [Text] / J. Zhu, C. Qiao, X. Wang // IEEE INFOCOM 2004. – 2004. doi: [10.1109/infcom.2004.1357028](https://doi.org/10.1109/infcom.2004.1357028)
15. Миночкин, А. И. Методы множественного доступа в мобильных радиосетях [Текст] / А. И. Миночкин, В. А. Романюк // Зв'язок. – 2004. – № 2. – С. 46–50.
16. Романюк, В. А. R-зонный метод маршрутизации в автоматизованих мережах радіозв'язку [Текст] / В. А. Романюк // Збірник наукових праць КВІУЗ. – 2001. – № 3. – С. 182–186.
17. Миночкин, А. И. Методология оперативного управления мобильными радиосетями [Текст] / А. И. Миночкин, В. А. Романюк // Зв'язок. – 2005. – № 2. – С. 53–58.

## Bibliography (transliterated):

1. Zhuk, O. V., Romaniuk, V. A., Sova, O. Ya. (2016). Metodolohichni osnovy upravlinnia perspektyvnymy neodnorodnymy bezprovodovymy sensorynymy merezhamy taktychnoi lanky upravlinnia viiskamy. Priorytetni napriamky rozvytku telekomunikatsiinykh system ta merezh spetsialnogo pryznachennia. Kyiv: VITI NTUU „KPI”, 34–44.
2. Zhuk, O. V., Sova, O. Ya., Romaniuk, V. A. (2011). Arkhitektura systemy upravlinnia merezhamy MANET. Problemy telekomunikatsii – 2011. Kyiv: ITS NTUU „KPI”, 77.
3. ElBatt, T., Ephremides, A. (2004). Joint Scheduling and Power Control for Wireless Ad Hoc Networks. IEEE Transactions on Wireless Communications, 3 (1), 74–85. doi: [10.1109/twc.2003.819032](https://doi.org/10.1109/twc.2003.819032)
4. Jung, E.-S., Vaidya, N. H. (2002). A power control MAC protocol for ad hoc networks. Proceedings of the 8th Annual International Conference on Mobile Computing and Networkin – MobiCom '02. doi: [10.1145/570649.570651](https://doi.org/10.1145/570649.570651)
5. Minochkin, A. I., Romanyuk, V. A. (2003). Upravlenie topologiyey mobil'noy radioseti. Zv'yazok, 2, 28–33.
6. Song, W.-Z., Wang, Y., Li, X.-Y. (2004). Localized algorithms for energy efficient topology in wireless ad hoc networks. Proceedings of the 5th ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing – MobiHoc '04. doi: [10.1145/989459.989473](https://doi.org/10.1145/989459.989473)
7. Nasipuri, A., Li, K., Sappidi, U. R. (2002). Power consumption and throughput in mobile ad hoc networks using directional antennas. Proceedings. Eleventh International Conference on Computer Communications and Networks. doi: [10.1109/iccncn.2002.1043137](https://doi.org/10.1109/iccncn.2002.1043137)
8. Narayanaswamy, S., Kawadia, V., Sreenivas, R. S., Kumar, P. R. (2002). Power control in ad-hoc networks: Theory. Architecture, algorithm and implementation of the COMROW protocol. In Proceedings of EuroWireless'02, 156–162.
9. Feeney, L. M., Nilsson, M. (2001). Investigating the energy consumption of a wireless network interface in an ad hoc networking environment. Proceedings IEEE INFOCOM 2001. Conference on Computer Communications. Twentieth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Society (Cat. No.01CH37213). doi: [10.1109/infcom.2001.916651](https://doi.org/10.1109/infcom.2001.916651)
10. Singh, S., Raghavendra, C. S. (1998). PAMAS – power aware multi-access protocol with signalling for ad hoc networks. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 28 (3), 5–26. doi: [10.1145/293927.293928](https://doi.org/10.1145/293927.293928)
11. Awerbuch, B., Holmer, D., Rubens, H. (2004). The pulse protocol: energy efficient infrastructure access. IEEE INFOCOM 2004. doi: [10.1109/infcom.2004.1357031](https://doi.org/10.1109/infcom.2004.1357031)
12. Heinzelman, W. R., Kulik, J., Balakrishnan, H. (1999). Adaptive protocols for information dissemination in wireless sensor networks. Proceedings of the 5th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking – MobiCom '99. doi: [10.1145/313451.313529](https://doi.org/10.1145/313451.313529)
13. Toh, C.-K. (2001). Maximum battery life routing to support ubiquitous mobile computing in wireless ad hoc networks. IEEE Communications Magazine, 39 (6), 138–147. doi: [10.1109/35.925682](https://doi.org/10.1109/35.925682)
14. Zhu, J., Qiao, C., Wang, X. (2004). A comprehensive minimum energy routing scheme for wireless ad hoc networks. IEEE INFOCOM 2004. doi: [10.1109/infcom.2004.1357028](https://doi.org/10.1109/infcom.2004.1357028)
15. Minochkin, A. I., Romanyuk, V. A. (2004). Metody mnozhestvennogo dostupa v mobil'nykh radiosetyah. Zviazok, 2, 46–50.
16. Romaniuk, V. A. (2001). R-zonovy metod marshrutyzatsii v avtomatyzovanykh merezhakh radiozviazku. Zbirnyk naukovykh prats KVIUZ, 3, 182–186.
17. Minochkin, A. I., Romanyuk, V. A. (2005). Metodologiya operativnogo upravleniya mobil'nymi radiosetiyami. Zviazok, 2, 53–58.

Надійшла (received) 07.07.2017



*Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions*

**Управління енергоспоживанням в безпроводових сенсорних мережах/ Романюк В. А., Жук О. В., Ткаченко Д. В.** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 20(1242). – С.53–59. – Бібліогр.: 17 назв. – ISSN 2079-5459.

**Управление энергоспоживанням в беспроводных сенсорных сетях/ Романюк В. А., Жук А. В., Ткаченко Д. В.** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 20(1242). – С.53–59. – Бібліогр.: 17 назв. – ISSN 2079-5459.

**Power management in wireless sensor networks/ Romaniuk V., Zhuk O., Tkachenko D.** // Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 20 (1242). – P.53–59. – Bibliogr.:17. – ISSN 2079-545

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Романюк Валерій Антонович** – Доктор технічних наук, професор, Заступник начальника Військового інституту телекомунікацій та інформатизації з наукової роботи, вул. Московська, м. Київ, 45/1, Україна, 01011, E-mail: [romval2016@gmail.com](mailto:romval2016@gmail.com).

**Жук Олександр Володимирович** – Кандидат технічних наук, доцент, Докторант науково-організаційного відділу Військового інституту телекомунікацій та інформатизації. вул. Московська, м. Київ, 45/1, Україна, 01011, E-mail: [beatle135@ukr.net](mailto:beatle135@ukr.net).

**Ткаченко Дмитро Віталійович** – Начальник кафедри військової підготовки Військового інституту телекомунікацій та інформатизації, вул. Московська, м. Київ, 45/1, Україна, 01011, E-mail: [tkachenkodv9@gmail.com](mailto:tkachenkodv9@gmail.com).

**Романюк Валерій Антонович** – доктор технических наук, профессор, заместитель начальника Военного института телекоммуникаций и информатизации по научной работе, ул. Московская, м. Киев, 45/1, Украина, 01011, E-mail: [romval2016@gmail.com](mailto:romval2016@gmail.com).

**Жук Александр Владимирович** – кандидат технических наук, доцент, докторант научно-организационного отдела Военного института телекоммуникаций и информатизации. ул. Московская, м. Киев, 45/1, Украина, 01011, E-mail: [beatle135@ukr.net](mailto:beatle135@ukr.net).

**Ткаченко Дмитрий Витальевич** – начальник кафедры военной подготовки Военного института телекоммуникаций и информатизации, ул. Московская, м. Киев, 45/1, Украина, 01011, E-mail: [tkachenkodv9@gmail.com](mailto:tkachenkodv9@gmail.com).

**Romaniuk Valeriy** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Deputy Head of the Military Institute of Telecommunications and Informatization on Scientific Work, Moscow str., Kyiv, 45/1, Ukraine, 01011, E-mail: [romval2016@gmail.com](mailto:romval2016@gmail.com).

**Zhuk Oleksandr** – PhD, Associate Professor, Doctorate in the scientific-organizational department of the Military Institute of Telecommunications and Informatization, Moscow str., Kyiv, 45/1, Ukraine, 01011, E-mail: [beatle135@ukr.net](mailto:beatle135@ukr.net).

**Tkachenko Dmitry** – Head of Department of Military Training of the Military Institute of Telecommunications and Informatization, Moscow str., Kiev, 45/1, Ukraine, 01011