

**Новіков В.І.**

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## МЕТОД ЗБІЛЬШЕННЯ ЧАСУ ЖИТТЯ БЕЗПРОВІДНОЇ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ З НАДЛИШКОВОЮ КІЛЬКІСТЮ ВУЗЛІВ ПІД ЧАС СТЕЖЕННЯ ЗА ЦІЛЯМИ МОНІТОРИНГУ

*Запропоновано метод збільшення часу життя безпроводної сенсорної мережі з надлишковою кількістю вузлів під час стеження за цілями моніторингу, який під час визначення маршрутів передачі зібраної інформації за сесіями спостереження враховує залишковий запас енергії вузлів і надійність безпроводних з'єднань.*

**Ключові слова:** сенсорна мережа, маршрутизація, метрика.

Перспективність і актуальність використання технології бездротових сенсорних мереж (БСМ) для виконання завдань моніторингу та управління в таких галузях, таких як автоматизація підприємств, безпека, екологія, надзвичайні ситуації залучили до досліджень провідні наукові центри та лабораторії світу. До основних переваг технології БСМ належить можливість створення самоорганізованих мереж, які використовують дешеві мініатюрні автономні обчислювальні пристрої [1].

Однак існують проблеми, які перешкоджають масовому впровадженню рішень на базі БСМ. Одна з них – це необхідність збільшення часу автономної роботи безпроводної мережі. Оскільки живлення вузлів БСМ здійснюється від батарей обмеженої ємності, то завдання управління витратами енергоресурсу сенсорних вузлів є одним із основних. Для цього до складу системи управління БСМ [2] входить підсистема управління витратами енергоресурсу. Метою її функціонування є мінімізація та перерозподіл витрат енергоресурсу вузлами для максимізації тривалості функціонування БСМ.

Аналіз наукових результатів, отриманих у вибраній предметній галузі [3], показав, що наявні методи управління витратами енергоресурсів БСМ не враховують особливостей БСМ і тому не забезпечують максимізацію тривалості їх функціонування за виконання вимог до якості інформаційного обміну. У зв'язку з цим завдання розроблення нових та удосконалення наявних методів управління витратами енергоресурсів для використання в БСМ є актуальним на сьогоднішньому етапі розвитку безпроводних телекомунікацій. У статті про-

понується новий енергозберігаючий метод моніторингу цілей у зонах спостереження сенсорів БСМ, який забезпечує зменшення витрат енергії батарей сенсорних вузлів за рахунок оптимізації часу спостереження сенсорів за цілями моніторингу та використання динамічної маршрутизації, яка враховує поточний (залишковий) запас енергії вузлів і надійність безпроводних з'єднань.

Задано. Множина зон спостереження  $Z_j$ , множина сенсорів  $C_i$  та базова станція (БС)  $D$  в заданій координатній площі,  $i, j = 1 \dots N$ ; побудована топологія сенсорної мережі.

Обмеження. Будь-який сенсор  $C_i$  може використовуватися як для спостереження за ціллю у зоні спостереження  $Z_j$ , так і для передачі (або ретрансляції) зібраних даних до БС. Кожен сенсор може одночасно спостерігати тільки за однією ціллю у зоні спостереження. Кожна ціль повинна спостерігатися деяким одним сенсором у будь-який час (безперервно). Розміщення сенсорів, цілей у зоні спостереження і БС квазістатичне.

Множина вимог до методу управління витратами енергоресурсу вузлів  $\{V_q\}$ ,  $q = 1, 3$  така: мінімальні витрати енергії батарей сенсорних вузлів; врахування розташування та кількості цілей у зонах спостереження; безперервний моніторинг зони спостереження.

Формалізація завдання. Введемо такі позначення:

$D$  – базова станція, енергоресурс якої необмежений.

$C_i$ ,  $i = \overline{1, n}$  – множина сенсорів і  $n = |C|$ .

$Z_j$ ,  $j = \overline{1, m}$  – множина зон спостереження і  $m = |Z|$ .

$C(j)$ ,  $j = 1, 2, \dots, m$  – множина сенсорів, здатних спостерігати за ціллю  $j$  у зоні спостереження  $Z_j$ .

$Z(i)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$  – множина цілей, що знаходяться в межах зони моніторингу сенсорів  $i$ .

$N(i)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$  – множина сусідів сенсора  $i$ .

$E_i^0$  – початковий енергетичний резерв сенсора  $i$ .

$d_{iu}$  – відстань між сенсорами  $i$  та  $u$ ,  $i, u = 1, 2, \dots, n, D$ .

$e^{Пл}, e^{Пр}$  – енергія, необхідна для передачі і прийому однієї одиниці даних відповідно.

$e^M$  – енергія, що витрачається для моніторингу цілі у зоні спостереження за одиницю часу.

$F$  – швидкість (частота) передачі даних, згерована сенсорами, що спостерігають за цілями.

$t_{ij}$  – загальний час спостереження  $i$ -го сенсора за  $j$ -ою ціллю.

Відзначимо, що  $C(i)$  може частково перетинатися з  $C(j)$  для  $i \uparrow j$  і  $Z(i)$  може частково перетинатися з  $Z(j)$  для  $i \uparrow j$ .

Необхідно: для заданих множин сенсорів  $C$ , цілей  $Z$  і базових станцій  $D$  знайти управляючий вплив  $U_{П}(t)$  (матрицю спостереження  $|T|_{n \times m}$ ), що задовольняє введені обмеження та збільшує тривалість функціонування сенсорної мережі  $T_{ФБСМ}$ :

$$U_{П}(t) = \arg \max T_{ФБСМ}(C(t), Z(t), D(t)E^0(t), U_{П}(t)),$$

$$\text{де } U_{П}(t) = \{|T|_{n \times m}\}.$$

Тривалість функціонування сенсорної мережі – відрізок часу до моменту виснаження енергії всіх сенсорів в  $C(j)$ , поки існує ціль  $j$  або дані моніторингу не можуть бути передані до БС внаслідок незв'язності мережі.

Пропонується новий енергозберігаючий метод моніторингу цілей у зонах спостереження сенсорів БСМ, який має три етапи:

1. Знаходження верхньої межі максимальної тривалості функціонування сенсорної мережі  $T_{ФБСМ}$  та матриці спостереження  $|T|_{n \times m}$ , що визначає інтервал часу, протягом якого сенсори спостерігають за цілями у зонах спостереження).

2. Визначення сесій спостереження – розбиття матриці спостереження  $|T|_{n \times m}$  на послідовність матриць (сесій) спостереження  $T_{n \times m} = T_1 + T_2 + \dots + T_t$ , які не зменшують отримане значення максимальної тривалості функціонування сенсорної мережі та забезпечують виконання умови «один сенсор – одна ціль».

3. Визначення маршрутів передачі зібраної інформації за сесіями спостереження з урахуванням поточного (залишкового) запасу енергії вузлів і надійності безпроводних з'єднань.

Аналіз першого та другого етапів запропонованого методу проведено в [4; 5]. Розглянемо детальніше третій етап.

### Облік надійності бездротового з'єднання

Численні дослідження характеристик малопотужних безпроводних каналів зв'язку показали, що в реальних системах спостерігається значна варіація та асиметрія якості зв'язку між вузлами. Тому під час пошуку маршрутів доставки пакетів необхідно аналізувати надійність з'єднань для обліку можливих додаткових витрат ресурсів мережі через втрати пакетів.

У стаціонарному режимі якість зв'язку між двома сусідніми вузлами  $v$  і  $w$  можна описати такими величинами:

$P_{ix,vw}$  ймовірність бітової помилки під час передачі даних від вузла  $v$  до вузла  $w$ ;

$P_{rx,vw}$  ймовірність бітової помилки під час прийому даних від вузла  $w$  вузлом  $v$ .

Вузол  $w$  аналогічним чином характеризує з'єднання з вузлом  $v$ . При цьому

$$P_{ix,vw} = P_{rx,vw} \quad (1.а)$$

але загалом

$$P_{ix,vw} \neq P_{rx,vw} \quad (1.б)$$

оскільки можлива асиметрія якості зв'язку.

Припустимо, що на фізичному рівні використовується пакетна передача даних і залежність ймовірності успішної передачі (прийому) пакета від ймовірності бітової помилки  $\beta$  описується функцією  $\Psi(\beta, L)$ , де  $L$  – довжина пакета (байт). Наприклад, за відсутності спеціального кодування двійкових символів функція  $\Psi(\beta, L)$  має вигляд

$$\Psi(\beta, L) = (1 - \beta)^{8L} \quad (2)$$

Вважаємо також, що використовується схема передачі пакетів із підтвердженням успішного прийому, яка застосовується у більшості протоколів доступу до середовища в безпроводних системах для підвищення надійності з'єднань. Пакет даних вважається успішно доставленим, якщо він був прийнятий вузлом-одержувачем без помилок і вузол-відправник отримав відповідний пакет підтвердження без помилок, тому під час передачі пакета даних від  $v$  до  $w$  ймовірність його втрати  $p_l$  рівнює

$$p_l = 1 - \Psi(\beta_{ix,vw}, L_d) \Psi(\beta_{rx,vw}, L_a), \quad (3)$$

де  $L_d$   $L_a$  розмір пакета даних та пакета підтвердження.

Ймовірність виконання рівно  $k$  спроб доставки пакета даних дорівнює

$$Pr\{X = k\} = \begin{cases} p_l^{k-1} (1 - p_l) n p u & 1 \leq k < N \\ p_l^{k-1} & \text{при } k = N, \end{cases} \quad (4)$$

де  $N$  – максимально допустима кількість спроб.

Тоді математичне сподівання кількості переданих пакетів даних дорівнює

$$\mu_d = \sum_{k=1}^N k Pr\{X = k\} = \frac{1 - p_l^N}{1 - p_l}, \quad (5)$$

але для спрощення подальших розрахунків будемо розглядати граничну ситуацію  $N \rightarrow \infty$ , тому середня кількість пакетів даних, переданих у межах однієї транзакції, дорівнює

$$\mu_{d,vw} = \frac{1}{\Psi(\beta_{tx,vw}, L_d) \Psi(\beta_{rx,vw}, L_d)}. \quad (6)$$

На кожен прийнятий без помилок пакет даних вузол-одержувач відправляє пакет підтвердження. Отже, математичне сподівання кількості переданих пакетів підтвердження дорівнює

$$\mu_{a,vw} = \mu_{d,vw} \Psi(\beta_{tx,vw}, L_d) = \frac{1}{\Psi(\beta_{rx,vw}, L_d)}. \quad (7)$$

Пропонується використати метрику вартості з'єднання, яка визначається як сумарне очікувана кількість пакетів даних і пакетів підтвердження, переданих у межах однієї транзакції доставки даних між двома сусідніми вузлами, тобто

$$M_{ETTX}(v, w) = \mu_{d,vw} + \mu_{a,vw}. \quad (8)$$

Очевидно, що на практиці невідомі точні значення ймовірностей бітової помилки  $\beta_{tx,vw}$   $\beta_{rx,vw}$  тому під час розрахунку метрики «очікувана загальна кількість передач» (8) використовуємо їх оцінки  $\hat{\beta}_{tx,vw}$   $\hat{\beta}_{rx,vw}$ . Як правило, в оперативному режимі якість зв'язку оцінюється за допомогою сигнальних пакетів, тому

$$\hat{\beta}_{tx,vw} = \Psi^{-1}(\hat{p}_{tx,vw}, L_p) \text{ і } \hat{\beta}_{rx,vw} = \Psi^{-1}(\hat{p}_{rx,vw}, L_p), \quad (9)$$

де  $\hat{p}_{tx,vw}$   $\hat{p}_{rx,vw}$  оцінки ймовірностей успішних передач і прийому сигнальних пакетів.

Таким чином, метрика «очікувана загальна кількість передач» має вигляд

$$M_{ETTX}(v, w) = \frac{1 + \Psi(\hat{\beta}_{tx,vw}, L_d)}{\Psi(\hat{\beta}_{tx,vw}, L_d) \Psi(\hat{\beta}_{rx,vw}, L_d)}. \quad (10)$$

### Динамічне балансування мережевого навантаження

У більшості безпроводних мереж виконується мінімізація витрат ресурсів для кожного окремого маршруту, але такий підхід може призводити до нерівномірного розподілу мережевого навантаження між вузлами мережі. Тому для забезпечення тривалого часу життя мережі необхідно виконувати балансування навантаження, тобто перерозподіл потоків трафіку між вузлами для більш рівномірного використання їх енергії. Для наближеного розв'язання задачі оптимізації часу життя мережі пропонується використовувати вагову функцію під час вибору наступної ланки на шляху доставки пакета даних точці збору.

Припустимо, що всі вузли однотипні і кожному з них для прийому одного пакета даних потрібна енергія  $e_{rx,d}$  ж, а для передачі пакета підтвердження –  $e_{tx,a}$  ж. Ці значення можуть бути визначені з моделі енергоспоживання вузла, складеної відповідно до протоколу множинного доступу до середовища і параметрів апаратної реалізації вузлів.

Тоді під час доставки пакета даних від вузла  $v$  до сусіднього вузла  $w$  очікувані загальні витрати енергії приймаючого вузла  $w$  становитимуть

$$e(v, w) = \frac{e_{rx,d}}{\Psi(\hat{\beta}_{tx,vw}, L_d) \Psi(\hat{\beta}_{rx,vw}, L_d)} + \frac{e_{tx,a}}{\Psi(\hat{\beta}_{rx,vw}, L_d)} \quad (11)$$

$$= \frac{e_{rx,d} + e_{tx,a} \Psi(\hat{\beta}_{tx,vw}, L_d)}{\Psi(\hat{\beta}_{tx,vw}, L_d) \Psi(\hat{\beta}_{rx,vw}, L_d)}, \text{ Дж}$$

Для реалізації метрики з балансуванням навантаження пропонується використовувати функцію вартості переходу такого вигляду:

$$C_{ERC}(v, w) = \frac{e(v, w)}{E(w)}, \quad (12)$$

де  $E(w)$  поточний запас енергії вузла  $w$ , Дж.

Фізичний зміст формули (12) полягає в тому, що відношення  $E(w) / e(v, w)$  можна розглядати як нормовану до величини  $e(v, w)$  залишкову ємність джерела живлення вузла  $w$  або як кількість транзакцій з витратами  $e(v, w)$  які можуть бути виконані за наявності кількості енергії  $E(w)$ . Вартість переходу визначена як зворотна величина до  $E(w) / e(v, w)$  тобто чим більше у вузла  $w$  залишилося енергетичних ресурсів, тим менша вартість переходу.

Однак функція (12) має недолік із позиції практичної реалізації, який полягає в тому, що необхідно оцінювати поточний запас енергії вузла в абсолютних величинах (Дж), тому потрібний облік властивостей джерела живлення (наприклад, характеристика розряду автономного елемента живлення), що часто є нетривіальним завданням. Тому пропонується перейти в (12) до відносних величин і задати вартість «очікувана залишкова ємність» (Expectedresidualcapacity) переходу у вигляді такого виразу:

$$(13)$$

де  $\bar{E}(w)$  нормована величина залишкового запасу енергії вузла  $w$ ;  $N(v)$  – множина сусідів вузла  $v$ , що знаходяться на меншій відстані до точки збору, ніж  $v$ .

### Результати моделювання

Імітаційне моделювання було виконане для каналу зв'язку, модель якого враховує значну варіацію та асиметрію якості зв'язку, що дає більш

наближену до реальних умов експлуатації оцінку ефективності маршрутизації.

У таблиці 1 наведені значення параметрів середовища поширення радіосигналів і характеристик приймачів, використані під час імітаційного моделювання. Безумовно, вказані значення параметрів не є єдиними можливими, але вони прийняті як типові на основі технічної документації на найбільш поширений приймач стандарту IEEE 802.15.4 CC2420 виробництва компанії Texas Instruments.

Для кожного екземпляру мережі проводилася серія з 10 випробувань з випадковими початковими умовами, але для різних сполучень значень  $n$ ,  $\rho$  і  $D$  було використано по 10 випадкових топологій. Для наочності на наведених нижче графіках вказані тільки середні значення без меж довірчих інтервалів, при цьому обсяг вибірки для кожного набору параметрів становить порядку  $10^5$  маршрутів.

Таблиця 1

**Прийняті під час моделювання параметри середовища поширення радіосигналів і приймачів-передавачів вузлів**

Параметр	Значення
Еталонна відстань $d_0$	1 м
Загасання на еталонній відстані $PL(d_0)$	55 дБ
Показник ступеня втрат у тракті $\alpha$	3
Середньоквадратичне відхилення $\alpha_{ch}$	3 дБ
Коефіцієнти анізотропії втрат $K_i (i=(0:359))$	1
Загасання через перешкоди між вузлами $\Omega_{vw}$ для $\forall v, w \in V$	0 дБ
Середня вихідна потужність передавача $P_t$	0 дБм
Середній рівень шуму приймача $P_n$	-95,5 дБм
Дисперсія	3 дБ2
Дисперсія	3 дБ2
Коваріація $cov(P_r, P_n)$	-2 дБ2

Порівняння запропонованих метрик вартості з'єднання і переходу виконано для типу трафіку «багато-до-одного», за якого різниця між різними метриками більш чітко виражена, ніж за трафіку «багато-до-багатьох». Тип трафіку «багато-до-одного», за якого всі пристрої мережі передають пакети в одну точку збору (базова станція, шлюз, концентратор і т. д.), характерний для багатьох завдань розподіленого збору інформації (наприклад, системи моніторингу), тому оцінка ефективності та вдосконалення механізмів маршрутизації в цьому режимі має важливе практичне значення.

Дослідження ефективності маршрутизації виконано для такого сценарію роботи мережі. Один із вузлів мережі (стік) призначається точкою збору і має необмежене джерело енергії (стаціонарне живлення), при цьому положення точки збору на площі покриття мережі є випадковим, інші вузли є кінцевими пристроями з автономними джерелами живлення однакової ємності (наприклад, батареї). Після включення і первинної конфігурації мережі (виявлення сусідів, оцінки стану каналу і т. д.) кінцеві вузли починають періодичну передачу пакетів даних моніторингу в точку збору. Мережа функціонує до тих пір, поки один із вузлів не вийде з ладу через виснаження джерела енергії. Інші параметри моделювання вказані в таблиці 2.

Таблиця 2

**Прийняті під час моделювання параметри енергоспоживання і довжини пакетів**

Параметр	Значення
Початковий запас енергії $E(0)$	105
Коефіцієнт $k_e$ (за замовчуванням)	1
Довжина пакетів даних $L_d$ (за замовчуванням)	75 байт
Довжина широкоповних сигнальних пакетів $L_p$	$L_d$
Довжина пакетів підтвердження $L_a$	11 байт

На рис. 1 наведено значення показників ефективності маршрутизації за таких поєднань відомих і запропонованих метрик вартості з'єднання і переходу:

– «Const – Const» – метрика вартості з'єднання  $M_{const}$  і метрика вартості переходу  $C_{const}$ , тобто «класичний» варіант, за якого оптимальним є маршрут із мінімальною кількістю проміжних вузлів і показники надійності з'єднань ніяк не враховуються;

– «METX – METX» – для оцінки вартості з'єднання і переходу використовується відома модифікована метрика «очікувана кількість передач»;

– «ETTX – ETXX» – для оцінки вартості з'єднання і переходу використовується запропонована метрика «очікувана загальна кількість передач»;

– « $C_{const}$  – ERC» – з'єднанням присвоюється постійна вартість, але використовується динамічне балансування мережного навантаження за допомогою метрики вартості переходу «очікувана залишкова ємність»  $C_{ERC}$ ;

– «ETTX – ERC» – під час пошуку маршрутів враховується якість зв'язку за допомогою

метрики «очікувана загальна кількість передач»  $M_{ETTX}$  а також виконується динамічне балансування мережного навантаження метрикою  $C_{ERC}$ .

У перших трьох варіантах виконується вирішення задачі пошуку оптимальних маршрутів, а в останніх двох застосовується локальне балансування мережевого навантаження з метою збільшення часу життя мережі.

Якщо під час оцінки вартості з'єднання якості зв'язку ніяк не враховується, то знайдені маршрути проходять через найменшу кількість проміжних вузлів – ретрансляторів (див. графіки для «Const – Const» і «Const – ERC» на рис. 1а), але за наявності втрат пакетів цей підхід призводить до низької ефективності маршрутизації, оскільки знайдений шлях може бути коротким, але складатися зі сполук із низькою надійністю, що призведе до додаткових витрат. Сказане наочно демонструє нормована величина латентності маршруту (рис. 1б),

в якій враховуються витрати часу на повторні передачі пакетів через їх можливі втрати. Видно також, що метрики  $M_{METX}$  та  $M_{ETTX}$  забезпечують приблизно однакову затримку доставки пакета даних, при цьому тип метрики вартості переходу не має істотного значення.

За відносним енергоспоживанням вузла  $\eta_{EC}$  сі метрики зіставні, крім варіанту «ETTX – ERC», за якого балансування мережного навантаження збільшує термін служби мережі, тому вузли встигають виробити трохи більшу частину вихідного запасу енергії.

Метрики  $M_{METX}$  та  $M_{ETTX}$  мають однакову ефективність щодо енергії і трафіку, а застосування балансування навантаження знижує значення показників  $\eta_{EE}$  а  $\eta_{TE}$  оскільки в цьому разі мета полягає в максимізації часу життя мережі у збиток оптимальності окремих маршрутів. Як видно на рис. 1е, ця задача цілком успішно вирішується,

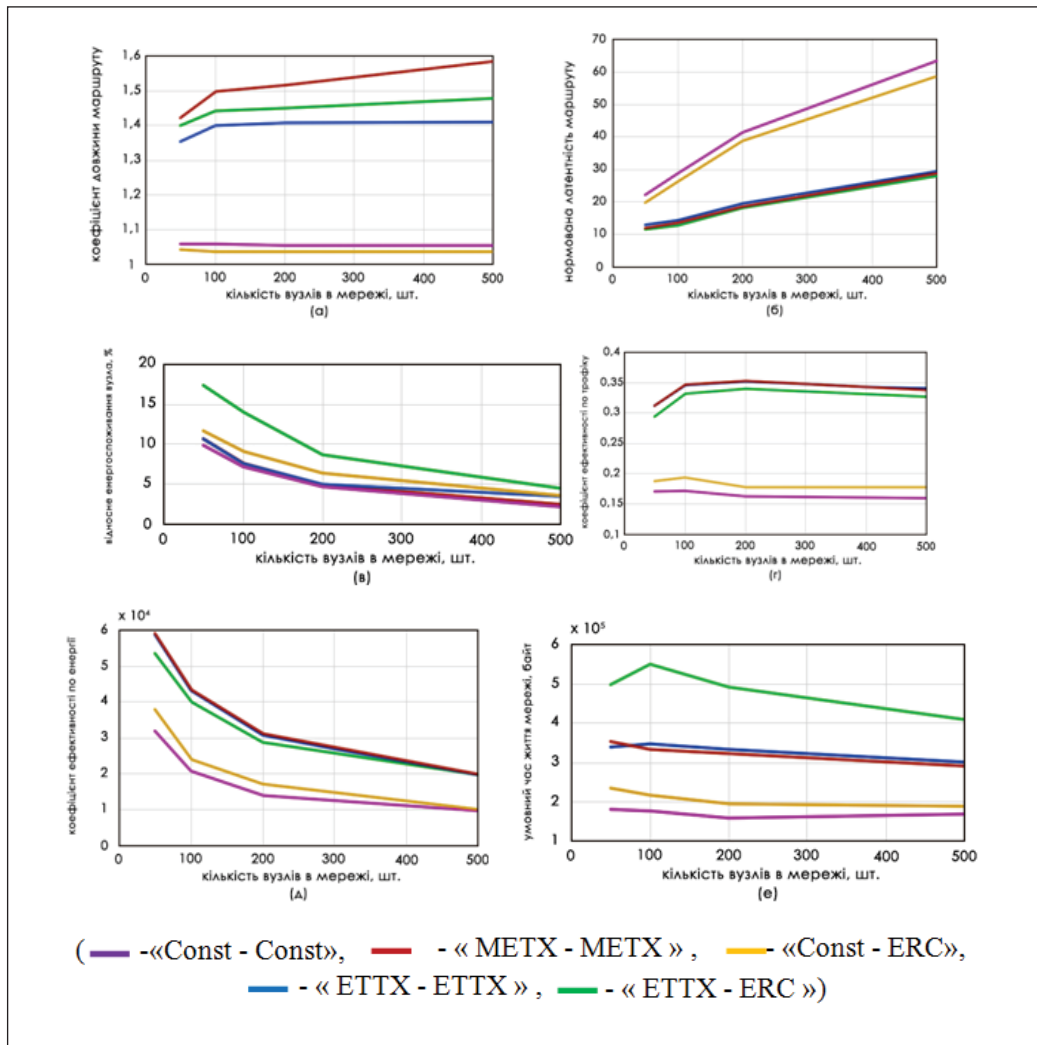


Рис. 1. Метрики вартості з'єднання і переходу

оскільки термін служби мережі збільшується в середньому у 2,9 раза порівняно з найбільш простим варіантом пошуку маршруту. Зауважимо, що якщо використовуються метрики вартості з'єднань  $M_{METX}$  та  $M_{ETTX}$ , то динамічний розподіл потоків трафіку збільшує термін служби мережі приблизно в 1,5 раза порівняно з результатом пошуку оптимальних маршрутів, хоча при цьому коефіцієнти ефективності щодо енергії і трафіку знижуються набагато меншою мірою (в середньому на 5,1% і 4,5% відповідно).

Для вирішення завдання максимізації часу життя сенсорної мережі запропоновано новий енергозберігаючий метод моніторингу цілей у зонах спостереження сенсорів БСМ. Для визначення маршрутів

передачі зібраної інформації за сесіями спостереження запропоновано два нові види метрик, які враховують поточний (залишковий) запас енергії вузлів і надійність безпроводних з'єднань. Перша метрика може бути використана окремо для вирішення завдань пошуку оптимальних маршрутів. У цій метриці застосовуються функції вартості переходу, в яких враховується інформація про якість зв'язку. Друга метрика в поєднанні з першою додатково враховує залишкові запаси енергії вузлів для динамічного балансування мережевого навантаження між ними. Розроблені метрики можуть бути успішно використані в БСМ із надлишковою кількістю вузлів під час стеження за цілями моніторингу для вирішення завдання збільшення часу життя мережі.

#### Список літератури:

1. Бунин С.Г., Войтер А.П., Ильченко М.Е., Романюк В.А. Самоорганизующиеся радиосети со сверхширокополосными сигналами / С.Г. Бунин, А.П. Войтер, М.Е. Ильченко, В.А. Романюк. К.: НПП «Издательство «Наукова думка» НАН Украины». – 2012. – 444 с.
2. Лисенко О.І. Функціональна модель системи управління безпроводною сенсорною мережею із самоорганізацією для моніторингу параметрів навколишнього середовища / О.І. Лисенко, К.С. Козелкова, В.І. Новіков, Т.О. Прищепа, А.В. Романюк // Системи обробки інформації. – 2015. – Вип. 10. – С. 222–225.
3. Коваленко І.Г. Аналіз методів енергозбереження в сенсорних радіомережах / І.Г. Коваленко, В.А. Романюк, І.М. Діянчук // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ «КПІ». – 2011. – № 1. – С. 76–84.
4. Лисенко О.І. Енергозберігаючий метод моніторингу цілей у зонах спостереження безпроводових сенсорних мереж / О.І. Лисенко, В.І. Новіков // Збірник матеріалів конференції «Проблеми телекомунікацій». К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – С. 395–398.
5. Жук О.В. Оцінка ефективності методики моніторингу цілей в безпроводній сенсорній мережі тактичної ланки управління / О.В. Жук, В.А. Романюк, О.Я. Сова // Труды Академії. – 2008. – № 7 (87). – С. 154–162.

#### МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ БЕСПРОВОДНОЙ СЕНСОРНОЙ СЕТИ С ИЗБЫТОЧНЫМ КОЛИЧЕСТВОМ УЗЛОВ ПРИ НАБЛЮДЕНИИ ЗА ЦЕЛЯМИ МОНИТОРИНГА

*Предложен метод повышения времени функционирования беспроводной сенсорной сети с избыточным количеством узлов при слежении за целями мониторинга, который при определении маршрутов передачи собранной информации за сессиями наблюдения учитывает остаточный запас энергии узлов и надежность беспроводных соединений.*

**Ключевые слова:** сенсорная сеть, маршрутизация, метрика.

#### A METHOD TO INCREASE THE TIME OF OPERATION OF A WIRELESS SENSOR NETWORK WITH AN EXCESSIVE NUMBER OF NODES WHILE TRACKING THE TARGETS

*Proposed a method to increase the time of operation of a wireless sensor network with an excessive number of nodes while tracking the targets, which in determining the transmission routes of the collected information for the monitoring sessions takes into account the residual energy of the nodes and the reliability of the wireless connections.*

**Key words:** sensory network, routing, metric.