

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ УПРАВЛІННЯ ПЕРСПЕКТИВНИМИ БЕЗПРОВОДОВИМИ СЕНСОРНИМИ МЕРЕЖАМИ ТАКТИЧНОЇ ЛАНКИ УПРАВЛІННЯ ВІЙСЬКАМИ

Актуальність. 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]. Основними елементами сенсорних вузлів є: датчики для контролю зовнішнього середовища, блок мікрокомп'ютера, батареї, прийомопередавач (додатково система позиціонування, наприклад, система GPS).

Загальна ідея функціонування БСМ полягає у використанні великої кількості безпроводових сенсорів, які можуть бути розташовані на значних географічних територіях для моніторингу за цілями (зонами) за багатьма параметрами телекомунікаційних мереж. Отримана безпроводовим сенсорним вузлом інформація моніторингу передається на спеціальні шлюзи (базові станції) безпосередньо або шляхом ретрансляції через проміжні сенсорні вузли. У випадку, якщо площі території для моніторингу дуже великі, у якості шлюзів можуть використовуватися сенсорні вузли на базі безпілотних літальних апаратів (БПЛА) [2].

На даний час ідуть інтенсивні розробки безпроводових сенсорних мереж тактичної ланки управління, які забезпечуватимуть отримання та передачу розвідувальної інформації про супротивника та видачу її органам управління військами та зброєю. Існуючі сенсорні мережі призначені для цивільного комерційного призначення, а методи управління ними не враховують особливостей функціонування БСМ військового призначення, тому актуальною є проблема спрямована на розробку нових методів управління безпроводовими сенсорними мережами тактичної ланки управління зі змінною топологією для забезпечення заданої якості моніторингу та передачі даних.

Аналіз останніх публікацій. Проведений аналіз можливих варіантів побудови тактичних сенсорних мереж продемонстрував перевагу застосування БСМ класу MANET: відсутність етапу планування (можливість самоорганізації), швидке розгортання, робота в русі (базова станція, БПЛА). На даний час запропоновані підходи до оптимізації радіомереж класу MANET за одним або декількома показниками [4 – 7]. Зокрема, в [4] запропоновано управляти витратами енергії батарей, в [5] – здійснювати багатокритеріальну оптимізацію маршруту з урахуванням його мобільності, в [6] – оптимізувати топологію мережі за декількома показниками, у [7] – враховувати моделі покриття в залежності від області застосування мережі, типу датчиків сенсорних вузлів, цільової функції управління. Однак, непередбачуваність умов функціонування радіомереж класу MANET призводить до необхідності трактування того, що функції (цільові функції) управління не є статичними, а визначаються в часі в залежності від етапів і функцій управління, а також параметрів стану об'єкта (об'єктів) управління (вузол, радіоканал, маршрут, зона, мережа) та наявних ресурсів [8]. В [9] запропонована нова парадигма управління, яка передбачає використання множини методів управління на кожному з рівнів мережевої інфраструктури, об'єднаних у базу методів, а вибір необхідного методу здійснюється системою управління (СУ) в залежності від стану вузла та умов, які склалися в БСМ. Відповідно до специфіки управління тактичними БСМ, СУ повинна бути реалізована на кожному вузлі БСМ (сенсор, мобільний робот, БПЛА, мобільна або стаціонарна базова станція), що потребує створення відповідного математичного, алгоритмічного та програмного забезпечення.

Виклад основного матеріалу дослідження. Проведений аналіз методів управління тактичними БСМ показує [10], що на сьогодні існує протиріччя між можливостями існуючих

методів і моделей управління сенсорними мережами (як проводовими, так і безпроводовими) і вимогами до перспективних тактичних сенсорних мереж та процесу управління ними. Зокрема, існуючі методи та методики оперативного управління не пристосовані до прийняття рішення в умовах невизначеності, не забезпечують здатність БСМ до самоорганізації та адаптацію вузлів до різних умов функціонування, орієнтовані на прийняття рішення тільки за централізованим принципом і, відповідно, не можуть бути використані для побудови вузлових СУ в БСМ (рис. 1).

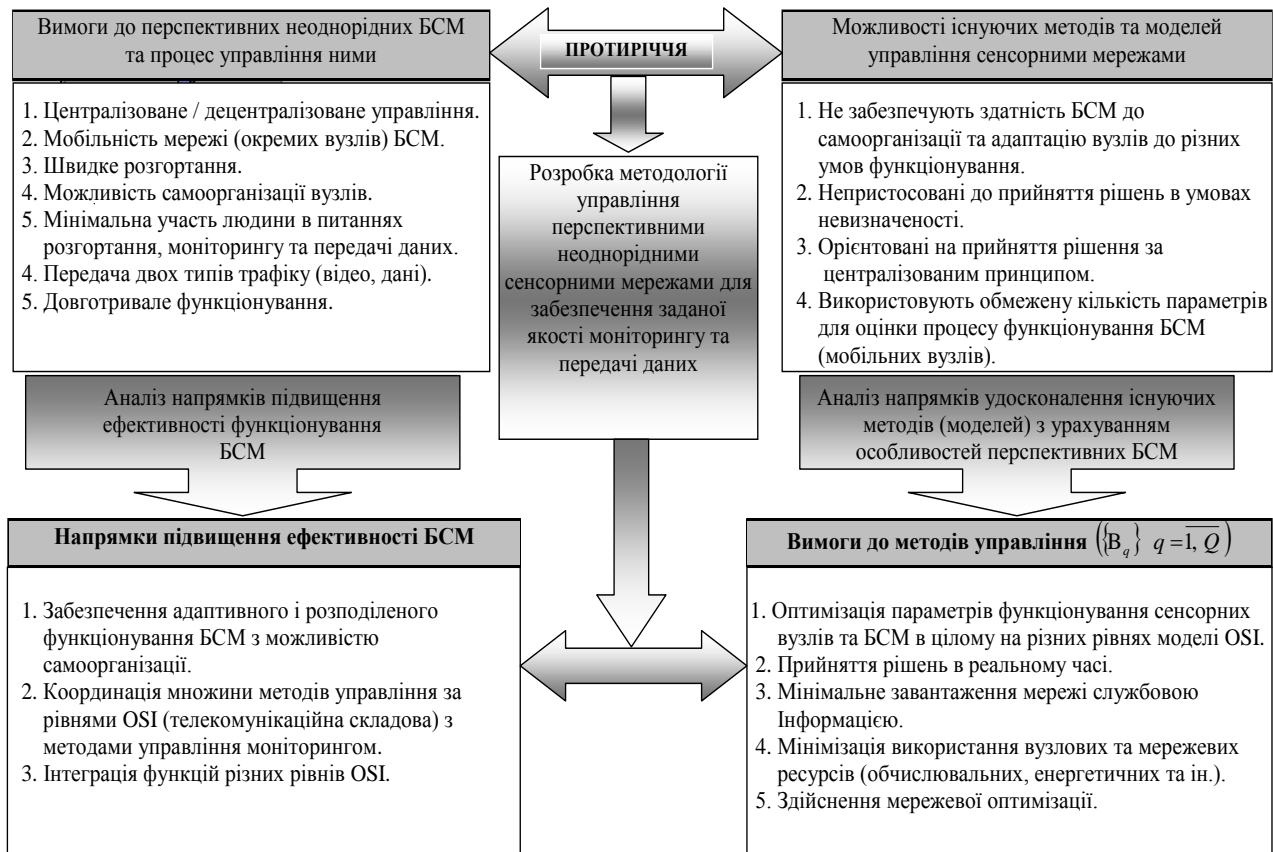


Рис. 1 Загальна схема вирішення проблеми дослідження

Існуючі спроби створення СУ мережею (вузлами) БСМ зі змінною топологією, носять фрагментарний характер.

Задачі розробки методів управління БСМ вирішуються відокремлено для кожної підсистеми мережевої (вузлової) СУ та на різних рівнях еталонної моделі OSI, а відсутність формалізованого апарату тільки ускладнює цей процес.

Тому актуальною є проблема спрямована на усунення зазначеного вище протиріччя шляхом розробки (методології) нових методів управління безпроводовими сенсорними мережами зі змінною топологією для забезпечення заданої якості моніторингу та передачі даних.

Здійснимо **загальну постановку проблеми дослідження** та обґрунтуємо напрямки її розв'язання. Розглянемо етап оперативного управління БСМ.

Оперативне управління сенсорною мережею представляється як управління моніторингом та телекомунікаційною складовою зі зворотнім зв'язком $U^*(t) = \{u_{\text{мон}}, u_{\text{тел}}\}$.

Управління моніторингом включає наступні етапи $u_{\text{мон}}(t) = \{u^{\text{розм}}, u^{\text{пок}}, u^{\text{спос}}\}$:

– $u^{\text{розм}}$ – *управління розміщенням* – збір інформації про об'єкти спостереження, визначення методів розміщення вузлів, вибір типу сенсорних вузлів (з врахуванням параметрів та середовища моніторингу), типу організації сенсорної мережі, тощо;

– U^n – управління покриттям – визначення типу покриття (покриття цілі (точки), покриття площі (зони, сектора), бар’єрне покриття), вибір моделі покриття в залежності від ступеня та коефіцієнта покриття);

– U^c – управління спостереженням – розрахунок сесій спостереження сенсорів та мережевої зв’язності.

Управління телекомунікаційною складовою включає наступні етапи $U_{\text{тел}}(t) = \{U^T, U^M, U^c, U^b, U^{\text{QoS}}$ тощо):

– U^T – управління топологією – в залежності від цілі управління здійснюється побудова топології мережі для отримання покриття або для отримання зв’язності.

– U^M – управління маршрутизацією – здійснюється побудова та підтримка маршрутів передачі інформації моніторингу заданої якості при виконанні вимог до їх функціонування (мінімізації службового трафіку, зменшення витрат енергії батарей, декілька маршрутів передачі інформації тощо).

– U^c – управління енергоспоживанням – метою управління є мінімізація споживаної енергії вузлами мережі (максимізація „тривалості функціонування” мережі – часу роботи мережі до моменту відмови заданої кількості вузла через нульову ємність їх батарей);

– U^{QoS} – управління якістю обслуговування при передачі інформації – управління набором параметрів (пропускна спроможність, затримка доставки пакетів і її варіація та інші) для певного потоку інформації (дані, відео).

Кількість і конкретні задачі оперативного управління визначаються характеристиками і умовами функціонування мережі, а також прийнятими технологічними рішеннями на етапі її проектування.

У зв’язку з цим, **об’єктом дослідження** є процеси оперативного управління БСМ тактичної ланки управління. Відповідно, **предметом дослідження** є методи, моделі та алгоритми оперативного управління ресурсами БСМ.

Визначимо наступні вихідні дані дослідження.

Задано: БСМ представляється у вигляді графа $G = (V, E)$ із множиною вершин $V = \{i\}$ і множиною ребер $E = \{(i, u)\}$, $i, u = \overline{1, N}$; C_i – множина сенсорів $i = \overline{1, n}$, d_{iu} – відстань між сенсорними вузлами, множина базових станцій $D \in V$.

Параметри сенсорного вузла i : координати розміщення (x_i, y_i) ; потужність передачі $p_i = p_{\min} \dots p_{\text{пор}}$; інтенсивність генерування інформації моніторингу Q_i^ξ ξ -го типу трафіку i -м вузлом; енергія батарей $E_i^b \leq E_{\text{поч}}$; енергія необхідна для передачі, прийому інформації та моніторингу відповідно $e^{\text{Пн}}, e^{\text{Пр}}, e^{\text{МОН}}$.

Параметри інформаційного обміну: Z_j – множина цілей (зон спостереження) $j = \overline{1, J}$, які визначають інтенсивність вхідних потоків $Q^\xi(t) = \|Q_{ad}^\xi(t)\|$, $\sum_{a=1}^n \sum_{d=1}^D q_{ad}^\xi(t) \leq q_{\text{max}}^\xi$, де a – відправник, D – базова станція, $t_3^\xi(m_{ad})$ – затримка передачі ξ -го типу трафіка за маршрутом m_{ad} , $l_{ab}^\xi(m_{ad})$ – кількість ретрансляцій по маршруту m_{ad} ; $\xi = \overline{1, 2}$ – тип трафіка (дані, відео); q_{iD}^ξ – інтенсивність потоку пакетів в радіоканалі iD , що поступають за всіма маршрутами m_{ad} .

Параметри мережі: $\omega(t) \leq \omega_{\text{max}}$ – інтенсивність зміни топології; $R(t) = \|r_i(t)\|$ – швидкості передачі даних в радіоканалі; $E(t) = \|e_i(t)\|$ – ємності батарей; $i, j = \overline{1, N_i}$; N_i – кількість вузлів у БСМ.

З урахуванням наведених вихідних даних, необхідно здійснити синтез методів, методик та моделей управління БСМ, які, при використанні їх у складі функціональних підсистем вузлових СУ, повинні відповідати наступним вимогам $\{B_q^l\}$, $l = \overline{0, 5}$, $q = \overline{1..Q}$:

- забезпечення основної мети функціонування вузла – моніторинг та передача всіх видів інформації із заданою якістю обслуговування;
- забезпечення адаптивного і розподіленого функціонування БСМ з можливістю її самоорганізації;
- оптимізація характеристик вузла та БСМ в цілому;
- прийняття рішень в реальному масштабі часу та в умовах невизначеності;
- мінімальні витрати батарей сенсорних вузлів.

Кінцевою метою управління БСМ може бути екстремум або виконання обмежень деякого функціонала (наприклад, максимум покриття площі спостереження, мінімум потужності передачі, максимум тривалості функціонування мережі тощо) для всієї БСМ, або в зонах спостереження між відправником та базовою станцією в цій БСМ з урахуванням наявних вузлових та мережових ресурсів.

Загалом цикл управління БСМ при розгортанні поділяється на етапи (рис. 2):



Рис. 2 Етапи управління при розгортанні БСМ

На етапі функціонування СУ БСМ реалізує множину цілей управління $\Pi = \{\Pi^{пок}, \Pi^{мон}, \Pi^{ткм}\}$, які залежать від її функцій (покриття, моніторинг, телекомунікаційна складова) при умові обмежень на якість обслуговування при моніторингу та передачі інформації і наявних ресурсів:

$$U^*(t) = \arg \underset{U \in \Omega}{opt} \Pi(K(t), U(t)), \quad (1)$$

$$\Pi = \{\Pi^{пок}, \Pi^{мон}, \Pi^{ткм}\}, \quad (2)$$

$$\Pi^{пок} = \left\{ \max \alpha O, \min n_{акт}^{пок}, \min O^{непок}, \max T_{\Phi}^{н^{пок}} \right\}, \quad (3)$$

$$\Pi^{мон} = \left\{ \min n_{мон}, \max p_{обн}, \max T_{\Phi}^{н^{мон}} \right\} \quad (4)$$

$$\Pi^{ткм} = \left\{ \min p_i, \min l_{iD}, \max S(m_{iD}), \max T_{\Phi}^{н^{ткм}} \right\}, \quad (5)$$

$$K(t) = \left\{ n(t), e_i(t), \|Q^{\xi}(t)\|, \omega(t), O(t), Cv(t) \right\} \quad (6)$$

при виконанні обмежень на множину управляючих впливів та ресурси мережі

$$\Omega = \Omega_{пок} \times \Omega_{мон} \times \Omega_{ткм} \times \Omega_{рес}, \quad (7)$$

$\Omega_{пок}$ – обмеження при управлінні покриттям, $\Omega_{мон}$ – обмеження при управлінні моніторингом, $\Omega_{ткм}$ – обмеження при управлінні телекомунікаційною складовою, $\Omega_{рес}$ – обмеження на ресурси мережі

$$\Omega_{\text{пок}} = \left\{ \begin{array}{l} 0 < e_i(t) \leq e_{\text{max}} \quad i=1, n_{\text{О пок}} \\ p_i(t) \leq p_{\text{max}} \\ Cv_{iD} = 1 \end{array} \right\}, \quad \Omega_{\text{мон}} = \left\{ \begin{array}{l} r_{\text{мон}}^{\xi} \leq r_{\text{монmax}}^{\xi}, \quad \xi=1,2(\text{дані, відео}) \\ \alpha\{O\} \leq \alpha\{O_{\text{зад}}\}, \\ n_{\text{мон}} \subset n_{\text{О пок}}, \\ \{C_{\text{мон}}\} \subset C \\ e_i \leq e_{\text{max}}, i=1, n_{\text{мон}} \\ Cv_{iD} = 1 \end{array} \right\},$$

$$\Omega_{\text{ткм}} = \left\{ \begin{array}{l} t_3^{\xi}(m_{iD}) \leq t_{\text{доп}}^{\xi} \quad (l_{iD}^{\xi}(m_{iD}) \leq l_{\text{доп}}^{\xi}), \\ q_{iD}^{\xi} \leq s_{\text{доп}}(cv_{iD}), \\ S_{\text{мар}}^{\xi} \geq S_{\text{пор}}, \\ Q^{\xi}(t) = \|Q_{iD}^{\xi}(t)\| \\ Cv_{iD} = 1 \end{array} \right\}, \quad \Omega_{\text{рес}} = \left\{ \begin{array}{l} p_i \leq p_{\text{пор}}, \\ e_i^{\delta} \leq e_{i\text{max}}^{\delta}, \text{ для } i \in C - D \end{array} \right\}$$

де Ω – ціль управління БСМ, що визначається параметрами стану мережі та зон спостереження $K(t)$ (6); U^* – оптимальний управляючий вплив в БСМ з множини $U(t)$; $t = [0, T_{\Phi}]$, де $T_{\Phi} = \min \{T_{\Phi}^{\text{пок}}, T_{\Phi}^{\text{мон}}, T_{\Phi}^{\text{ткм}}\}$ – тривалість функціонування мережі; $O(t) = \{X(t) \text{ або } Z(t) \text{ або } B(t)\}$ – об'єкти покриття (X – цілі спостереження, Z – площа спостереження, B – побудова бар'єру спостереження); α – ступінь покриття ($\alpha =]0..1]$); $\omega(t)$ – інтенсивність зміни топології; $Q^{\xi} = \|q_{iD}\|$ – інтенсивність та тип ξ -го трафіку моніторингу; $S_{\text{мар}}^{\xi}$ – пропускна спроможність маршруту для ξ -го типу трафіка; $Cv(t) = \|Cv_{iD}(t)\|$ – наявність маршруту між i і D ; t_{ξ}^{ξ} – затримка передачі трафіка ξ -го типу; $s(cv_{iD})$ – пропускна спроможність радіоканалу; l_{ab}^{ξ} – кількість ретрансляцій для пари вузлів (a, D) за маршрутом m_{aD} , a – відправник, D – адресат (базова станція); p_i – потужність передачі i -го вузла відповідно до прийнятих маршрутних рішень Π_i ; C – множина сенсорних вузлів; Z – цілі спостереження; e_i^{δ} – енергія батарей сенсорних вузлів; $t_{\text{доп}}^{\xi}$, $l_{\text{доп}}^{\xi}$ – допустимі значення параметрів.

Напрямки розв'язання проблеми наукового дослідження.

Відповідно до наведених вище складових методології управління БСМ, розробці методів, методик і моделей управління вузловими та мережевими ресурсами на різних рівнях моделі OSI повинен передувати розвиток теоретичних основ управління тактичними БСМ, що передбачає:

- вибір математичного апарату для розв'язання поставленої проблеми;
- визначення принципів побудови СУ тактичними БСМ;
- розробка теоретичних основ управління покриттям в БСМ;
- розробка теоретичних основ управління моніторингом в БСМ;
- розробка теоретичних основ управління телекомунікаційною складовою (топологією, маршрутизацією, енерговитратами, якістю обслуговування тощо);

Далі, на основі представлених теоретичних основ, а також з урахуванням особливостей функціонування тактичних БСМ та структури СУ ними, буде здійснено синтез методів та моделей управління вузловими та мережевими ресурсами на різних рівнях моделі OSI.

На рис. 3. представлена схема системного аналізу і синтезу методів, методик та моделей управління БСМ, яка складається з декількох етапів. На першому етапі визначаються вихідні дані дослідження, зокрема – об'єкт та предмет дослідження, параметри

БСМ та особливості умов їх функціонування, вимоги до методів та методик управління МР, а також показники їх ефективності.

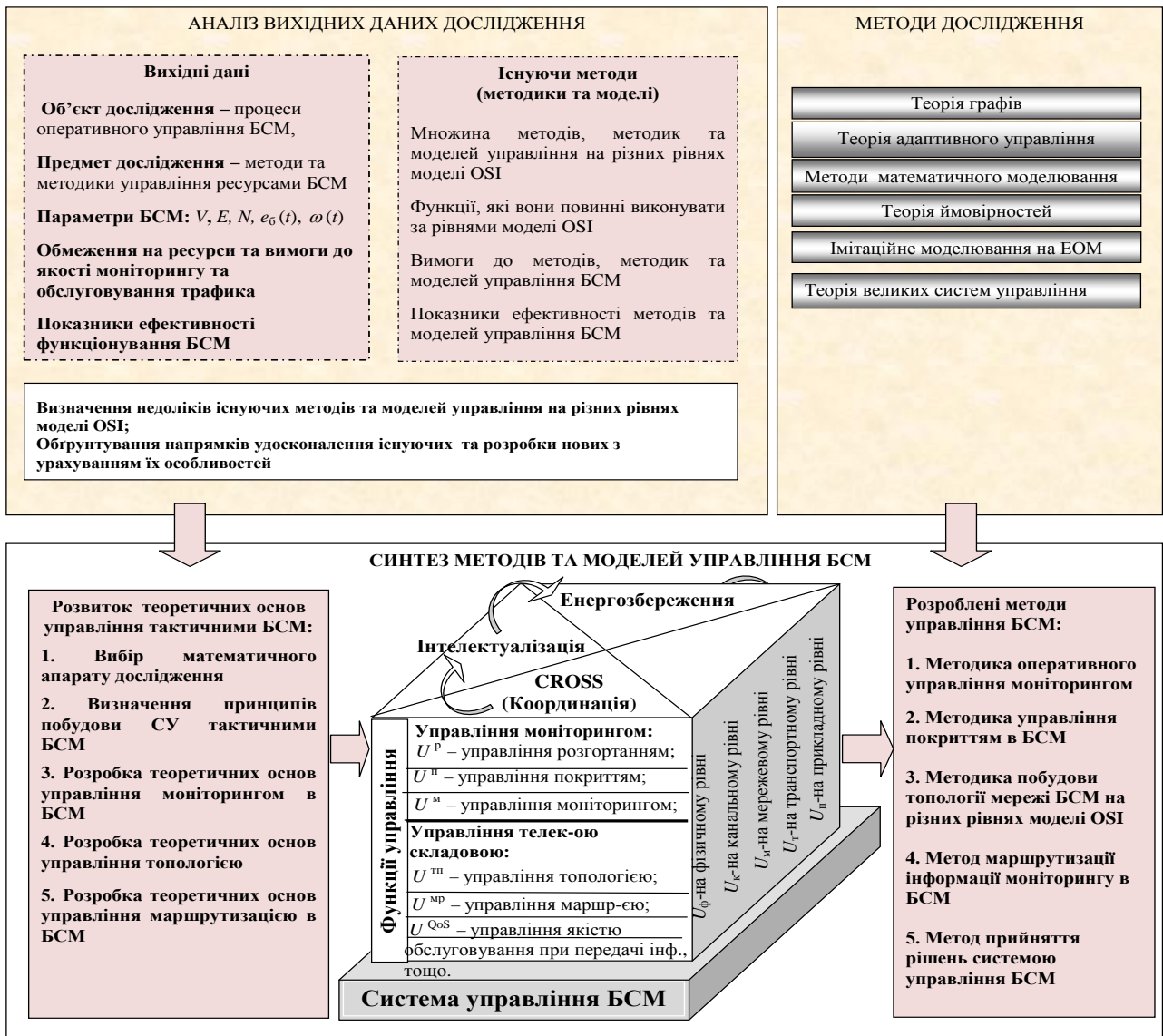


Рис. 3 Схема системного аналізу та синтезу методів управління БСМ

На другому етапі проводиться аналіз існуючих методів та методик управління БСМ, які використовуються в стаціонарних мережах, а також безпроводових мережах цивільного призначення. Визначається відповідність існуючих методів та методик представленим вимогам, конкретизуються їх недоліки та вибираються можливі напрямки їх усунення.

Третій етап передбачає синтез методів, методик та моделей управління БСМ. Як зазначалося раніше, зважаючи на високу складність формалізації процесу моніторингу та передачі даних в БСМ, та з урахуванням відмінностей у побудові СУ БСМ пропонується здійснювати синтез методів та моделей управління за функціями, які вони повинні виконувати в БСМ, відповідно до принципу інтеграції функцій різних рівнів моделі OSI (телекомунікаційна складова) з методами управління моніторингом

Останній етап в схемі системного аналізу і синтезу методів та моделей управління БСМ передбачає оцінку ефективності запропонованих методів. Для цього, шляхом імітаційного моделювання, проводиться порівняння характеристик розроблених та існуючих методів (моделей) за вибраними показниками ефективності і на основі отриманих результатів формуються рекомендації щодо застосування синтезованих методів та моделей для розробки відповідних підсистем вузлової СУ.

ВИСНОВОК. Здійснена формалізація постановки проблеми управління безпроводовими сенсорними мережами тактичної ланки управління, визначена схема системного аналізу і синтезу, запропоновані напрямки розвитку теоретичних основ управління тактичними БСМ (методів управління сенсорними мережами зі змінною топологією для забезпечення заданої якості моніторингу та передачі даних).

ЛІТЕРАТУРА

1. Жук О.В. Управління перспективними неоднорідними безпроводними сенсорними мережами тактичної ланки управління військами: проблема і шляхи рішення / Жук О.В., Романюк В.А., Бовда Е.М. // Збірник наукових праць „Труди університету”. Випуск № 1. – К.: НАОУ, 2017.– С. 171 – 180.
2. Sitharama I.S. Distributed Sensor Networks, Second Edition: Image and Sensor Signal Processing / Sitharama Iyengar S., Richard R. – USA: CRC Press, 2012. – 764 p.
3. Жук О.В. Система управління тактичними сенсорними мережами / Жук О.В., Романюк В.А., Сова О.Я. // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ „КПІ”. – 2008. – № 2. – С. 88 – 96.
4. Жук О.В. Управління енергоспоживанням в безпроводових сенсорних мережах / Жук О.В., Романюк В.А., Ткаченко Д.В. // Вісник НТУ „ХПІ”. – 2017. – № 20 (1242). – С. 53 – 60.
5. Роман Жук О.В. Методологічні основи управління перспективними неоднорідними безпроводовими сенсорними мережами тактичної ланки управління військами. Тези доповідей та виступів учасників ІХ науково-практичної конференції [„Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення”], (Київ, 2016 р.) / Жук О.В., Романюк В.А., Сова О.Я. – К.: ВІТІ НТУУ „КПІ”, 2016. – С. 34 – 44.
6. Жук О.В. Методика побудови топології безпроводової сенсорної мережі тактичної ланки управління військами / Жук О.В. // Збірник наукових праць „Труди університету”. Випуск № 4. – К.: НАОУ, 2017.– С. 168 – 181.
7. Жук О.В. Моделі побудови покриття і виявлення цілей в безпроводових сенсорних мережах / Жук О.В., Романюк А.В., Тарасов В.В., Ткаченко Д.В. // Збірник наукових праць ВІТІ. – 2017. – № 3. – С. 41 – 48.
8. Жук О.В. Інтеграція та координація підсистеми моніторингу та телекомунікацій – нова парадигма побудови системи управління неоднорідними безпроводовими сенсорними мережами / Жук О.В., Романюк А.В., Степаненко Є. О., Ткаченко Д.В. // Збірник наукових праць „Труди університету”. Випуск № 4. – К.:НАОУ, 2017.– С. 127 – 133.
9. Сова О.Я. Методологія синтезу інтелектуальних систем управління вузлами перспективних мобільних радіомереж з динамічною топологією/ Сова О.Я., Романюк В.А. Жук П.В., Уманець Я.Л. //Збірник наукових праць ХУПС – 2012. – № 3. С. 51 – 60.
10. Жук О.В. Аналіз методів та протоколів управління тактичними сенсорними мережами на різних рівнях моделі OSI /Жук О.В., Романюк В.А., Остапенко О.О. // Збірник наукових праць „Труди університету”. Випуск № 2. – К.: НАОУ, 2016.– С. 204 – 214.