

УДК 656.225:629.1

Запара Я.В.<sup>1</sup>, Панченко В.К.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> канд. техн. наук, доц. УкрДУЗТ

<sup>2</sup> асп. УкрДУЗТ

## **ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ БЕЗДРОТОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ ДЛЯ МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ПЕРЕВІЗНИКІВ**

Мультиmodalні перевезення відіграють вирішальну роль у сучасних транспортно-логістичних системах, оскільки вони включають різні види транспорту для ефективного перевезення вантажів. Це особливо характерно для спеціальних категорій вантажів, зокрема небезпечних та швидкопсувних товарів. Бездротові сенсорні мережі можуть бути ефективним інструментом для впровадження стандартів мультиmodalних перевезень, таких як стандарти IATA CEIV, які охоплюють доставку живих тварин, свіжих продуктів та фармацевтичної продукції повітряним транспортом.

Необхідність використання спеціалізованих засобів зв'язку зумовлена потребою постійного моніторингу безпеки таких вантажів протягом усього маршруту мультиmodalного перевезення. Це може бути пов'язано з необхідністю постійного інтерактивного контролю температури, тиску, герметичності, незворотності тощо або з поєднанням зазначених вимог.

Бездротові сенсорні мережі з кожним роком стають дедалі більш незамінними супутниками мультиmodalного транспорту. Типологія

кластерних дерев, як особливість розвитку, є одним із найбільш прогресивних рішень, що потребує детальнішого дослідження. Мультимодальні перевезення характеризуються необхідністю забезпечення синхронізації видів транспорту за часовими параметрами, вантажними одиницями, а також процесами організації консолідації та складських операцій.

Треба зазначити, що кластеризація є одним із найефективніших інструментів оптимізації управління сенсорними мережами [1], а запропонований метод нерівномірної кластеризації довів свою оптимальність. Окрім кластеризації, ефективність таких мереж залежить і від оптимізації процесу маршрутизації, що підтверджується результатами досліджень Krishna та ін. [2], у яких доведено доцільність використання ієрархічної ланцюгової маршрутизації. Використання бездротових сенсорних мереж, зокрема для моніторингу стану інфраструктурних об'єктів, стало реальністю. Прикладом такого рішення є комбінована нечітко-метаевристична структура для оцінювання стійкості мостів, ефективність якої доведено Fanian та ін. у роботі [3].

В якості методологічної основи для дослідження застосування кластерних дерев щодо бездротових сенсорних мереж, використовувались методи експертних оцінок, математичні методи, а також агрегативні, дивізивні методи, методи побудови оптимальних дерев і методи визначення відстаней між кластерами. Загалом слід наголосити на необхідності комплексного підходу до розв'язання проблеми впровадження бездротової сенсорної мережі для мультимодальних перевізників, яка має бути синхронізована з аналогічними системами інших учасників процесу доставки.

На основі проведеного дослідження та розв'язання питань, пов'язаних із використанням бездротових сенсорних мереж в організації мультимодальних перевезень, було вирішено такі завдання:

- проведено критичний аналіз попередніх наукових досліджень, присвячених функціонуванню бездротових сенсорних мереж;
- здійснено аналіз ефективності деревоподібної топології мереж на основі результатів попередніх наукових робіт [1, 2];
- розроблено класифікаційну основу використання бездротових сенсорних мереж за характеристиками в організації мультимодальних перевезень;
- створено систему впровадження бездротової сенсорної мережі, побудованої за топологією кластерних дерев, для мультимодальних перевізників;
- виконано порівняльний аналіз ефективності топологій бездротових сенсорних мереж для мультимодальних перевізників.

Отже, оцінювання, виконане на основі порівняльного аналізу ефективності топологій бездротових сенсорних мереж для мультимодальних перевізників, дало змогу обґрунтовано стверджувати, що топологія кластерних дерев є найбільш оптимальною. Її інтегральна оцінка ефективності становить 0,9025, що на 0,04 перевищує показник другої за ефективністю кільцевої топології.

Таким чином, було запропоновано концептуальну класифікаційну схему використання бездротових сенсорних мереж за характеристиками в організації мультимодальних перевезень, запропоновано систему впровадження бездротової сенсорної мережі, спроектованої за топологією кластерних дерев для мультимодальних перевізників.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. Y. K. Sharma, G. Ahmed, D. K. Saini, Uneven clustering in wireless sensor networks: Computers and Electrical Engineering 120 (Part C), 109844 (2024).
2. V. R. Krishna, V. Sukanya, M. A. Hameed, Optimizing Wireless Sensor Network longevity with hierarchical chain-based routing and vertical network partitioning techniques. Measurement: Sensors 36, 101390 (2024).
3. F. Fanian, M. K. Rafsanjani, M. Shokouhifar, Combined fuzzy-metaheuristic framework for bridge health monitoring using UAV-enabled rechargeable wireless sensor networks. Applied Soft Computing 167 (Part C), 112429 (2024).