

УДК 621.391

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.6/07>**Сушин І.О.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Буткевич Г.Ю.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

МЕТОДИКА ОЦІНКИ ЗВ'ЯЗНОСТІ ВУЗЛІВ БЕЗДРОТОВОЇ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ ПРИ УМОВІ ВИКОРИСТАННЯ БАГАТОРІВНЕВОЇ МЕРЕЖІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ АЕРОПЛАТФОРМ

Світові катаклізми та війни призводять до проблем відсутності зв'язності між вузлами мереж. Це питання стає все актуальнішим кожного дня, що створює багато пропозицій та ідей вирішення даної комплексної задачі. Тому було проаналізовано аспекти, пов'язані з методологією оцінки зв'язності вузлів бездротової сенсорних мереж з використанням телекомунікаційних аероплатформ на базі безпілотних літальних апаратів, кластеризацію бездротових сенсорних мереж. Виконано пошук методологічних підходів до забезпечення зв'язності вузлів бездротової сенсорної мережі в умовах відсутності комунікаційної інфраструктури. Забезпечення зв'язності вузлів БСМ є важливим фактором для отримання необхідної інформації від мережі, але і досі є необхідність в ефективній методиці оцінки зв'язності вузлів бездротових сенсорних мереж при використанні телекомунікаційних аероплатформ на базі безпілотних повітряних апаратів в умовах відсутності комунікаційної інфраструктури. Це створює наукову задачу, яка полягає у вдосконаленні методики оцінки зв'язності вузлів бездротових сенсорних мереж з урахуванням можливості використання мережі не лише телекомунікаційних аероплатформ, а й супутникового. Обґрунтовано та розглянуто основну мету, наукову задачу та предмет дослідження, пов'язані з методологією оцінки зв'язності вузлів бездротових сенсорних мереж з використанням телекомунікаційних аероплатформ на базі безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Представлена методика оцінки зв'язності вузлів бездротової сенсорної мережі (БСМ) із врахуванням можливості використання багаторівневої мережі телекомунікаційних аероплатформ (ТА) в умовах відсутності комунікаційної інфраструктури. А також алгоритм оптимізації взаємодії послідовних рівнів обміну інформацією. Це дасть можливість її використання бути в експертно-моделюючій системі прийняття рішень для керування пошуково-рятувальними роботами.

Ключові слова: БСМ, телекомунікаційна аероплатформа, зв'язність вузлів, багаторівнева мережа, БПЛА.

Мета дослідження. Пошук методологічних підходів до забезпечення зв'язності вузлів БСМ, що є необхідною умовою отримання інформації від БСМ в умовах відсутності комунікаційної інфраструктури.

Наукова задача дослідження. Вдосконалення методики оцінки зв'язності вузлів бездротових сенсорних мереж із врахуванням можливості використання багаторівневої мережі телекомунікаційних аероплатформ (ТА) в умовах відсутності комунікаційної інфраструктури.

Об'єкт досліджень. Процес функціонування БСМ із застосуванням телекомунікаційних аероплатформ на базі БПЛА.

Предмет досліджень. Методика оцінки зв'язності вузлів БСМ із врахуванням можливості

використання багаторівневої мережі телекомунікаційних аероплатформ (ТА) в умовах відсутності комунікаційної інфраструктури.

Постановка проблеми. Відсутність ефективної методики оцінки зв'язності вузлів бездротових сенсорних мереж (БСМ) при використанні телекомунікаційних аероплатформ на базі безпілотних повітряних апаратів (БПЛА) в умовах відсутності комунікаційної інфраструктури [1].

У зв'язку зі зростанням застосування БСМ та БПЛА в різних галузях, таких як військовий, медичний, екологічний та інші, виникає потреба у забезпеченні надійного та стабільного зв'язку між вузлами таких мереж. Однак, в умовах відсутності комунікаційної інфраструктури, коли

зв'язок здійснюється через телекомунікаційні аероплатформи, виникають складнощі у визначенні оптимальних методів оцінки зв'язності вузлів БСМ [2, 3].

Є наявна необхідність розробки методологічних підходів та вдосконалення методики оцінки зв'язності вузлів БСМ, яка враховуватиме можливість використання багаторівневої мережі телекомунікаційних аероплатформ. Це дозволить забезпечити ефективне використання БПЛА для забезпечення зв'язку в мережі, а також покращити продуктивність, стабільність та надійність комунікаційного процесу між вузлами БСМ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Класифікація методів кластеризації у бездротових сенсорних мережах (БСМ) використовується для розділення вузлів мережі на групи або кластери, які мають спільні характеристики. Кластеризація призначена для оптимізації функціонування БСМ завдяки мінімізації навантаження на мережу, кластеризовані вузли можуть взаємодіяти безпосередньо між собою, уникаючи використання загальних ресурсів мережі. Кластеризовані вузли можуть обмінюватися даними навіть у випадку пошкодження окремих вузлів чи каналів зв'язку та можуть обробляти дані локально, зменшуючи потребу у їх передачі на центральний вузол [5].

Методи кластеризації, що не базуються на інформації про мережу, не використовують характеристики вузлів для їхнього визначення у кластерах. Ці методи розподіляють вузли мережі на кластери, базуючись на їх взаємодії між собою [6].

Виклад основного матеріалу дослідження. Сучасна система моніторингу надзвичайної ситуації складається з БСМ та БПЛА(ів). Ці БПЛА розташовані на різних рівнях над поверхнею землі і мають різний рівень енергетичного та телекомунікаційного забезпечення, а також різні можливості з точки зору дистанційного збору інформації з сенсорів беспроводових сенсорних мереж.

У своїх дослідженнях вчені аналізують проблему підвищення зв'язності мобільних радіомереж шляхом розташування нових або переміщення існуючих безпілотних повітряних апаратів, проте математична модель не враховує відстань передачі даних через повітря [7, 8].

В останній час зростає зацікавленість у методах оцінки параметрів руху безпілотних літальних апаратів, які включені до інфокомунікаційних сенсорних мереж і виконують різкі маневри або постійно змінюють свою траєкторію руху [10, 11, 12].

На першому рівні розташовані сенсори. Сенсорами (тобто датчиками первинної інформації)

можуть бути оснащені механічні пристрої, які розташовуються чи пересуваються по поверхні за допомогою спеціальних пристроїв пересування або разом з людиною, яка є рятувальником чи виконувачем пошукових робіт в зоні надзвичайної ситуації). Мова йде про територію, земну поверхню чи акваторію морів або океанів де телекомунікаційна інфраструктура відсутня через певні катаклізми, природні або техногенні аварії, катастрофи (наприклад, землетрус в Туреччині, Сирії та Іраці, торнадо у США).

Прибуття пошуковців та рятувальників або тільки технічних засобів для виконання відповідних завдань вимагає оперативного покриття великих територій для зв'язку не тільки з оперативним центром рятування, а й з глобальними центрами спостереження за катаклізмами, науковими та медичними центрами, в яких можуть бути надані вказівки або здійснено керування рятувальними діями, здійсненням медичних операцій для рятування життя людей. Тому відсутність телекомунікаційної інфраструктури або неможливість передачі інформації є ключовим моментом задачі пошуку та рятування.

На сьогоднішній день кожна бригада що прибула до місця події має БПЛА гелікоптерного типу (або в деяких випадках літакового). Вони створюють 1-й рівень мережі (тактичний рівень), який забезпечує локальну зв'язність між технічними засобами рятування і пошуку та рятувальниками. Висота розташування від пів кілометра до одиниць кілометрів.

Але щоб передати інформацію на далекі відстані до місць де приймаються загальні (оперативно-стратегічні) рішення необхідний ще один рівень – 2-й (висота якого над земною поверхнею від декількох кілометрів до декількох десятків кілометрів). Він повинен взаємодіяти як з мережею БПЛА гелікоптерного типу (тактичний рівень) так і з системами розташованими на низьких навколосезних орбітах для того, щоб з їх допомогою швидко передавати інформацію до головного центру прийняття рішень. Або безпосередньо передавати інформацію до цього центру.

Також рівні визначаються не тільки просторовим розташуванням, а й оснащенням і можливістю перебування у робочому стані, тобто виконувати інформаційний обмін з іншими рівнями мережі.

Зазвичай БПЛА гелікоптерного типу можуть триматися у повітрі від пів години до декількох годин, а літакового типу можуть триматися від 24 годин до декількох діб (тому що енергетична оснащеність більш висока).

Багаторівневі системи БПЛА, що взаємодіють з БСМ можуть застосовуватися (рисунок 1): При спостереженні за океанічними та морськими акваторіями; При спостереженні за ландшафтами прецизійного землеробства, тваринництва; При спостереженні за природними катастрофами, які, зазвичай, мають регіональний масштаб дії та ще й ускладнюються техногенними аваріями, якщо ці катастрофи відбуваються на ландшафтах агломерацій; При спостереженні за техногенними об'єктами для уникнення можливих техногенних катастроф; При використанні на урбаністичних територіях, де сконцентрована велика кількість людей і техногенних об'єктів.

Таким чином, дана робота пов'язана із можливістю забезпечення інформаційного обміну в умовах відсутності телекомунікаційної інфраструктури, тобто в умовах техногенної або природної катастрофи є актуальною.

В роботі запропонована універсальна методика раціональної взаємодії послідовних рівнів інформаційного обміну між БСМ (на земній поверхні чи в акваторії) з БПЛА (1-го рівня) та БПЛА (1-го рівня) з БПЛА (2-го рівня), що забезпечує оцінку зв'язності та оптимізацію процесу збору даних з БСМ.

Етапи запропонованої методики:

1. Загальна постановка задачі оцінки зв'язності. Першим етапом є аналіз потреб і вимог до забезпечення зв'язності в конкретній системі. Встановлюються основні критерії оцінки, такі як доступність, надійність, пропускна здатність та інші.

2. Аналіз та синтез методів оцінки зв'язності. На цьому етапі проводиться огляд та аналіз наявних методів оцінки зв'язності. Вивчаються різні підходи та техніки, які можуть бути застосовані для оцінки зв'язності в даній системі. На основі цього аналізу можуть бути розроблені нові методи або вдосконалені існуючі з метою поліпшення оцінки зв'язності.

3. Аналіз та вибір апаратних засобів БСМ при умові застосування багаторівневої системи БПЛА. Проводиться оцінка вимог до апаратних засобів безперервної системи моніторингу в разі використання багаторівневої системи безпілотних повітряних апаратів. Визначаються потреби в обладнанні, такому як радіоканали, антени, приймачі, передавачі тощо. Здійснюється вибір апаратних засобів, які найкраще відповідають вимогам системи оцінки зв'язності.

4. Алгоритм оптимізації взаємодії послідовних рівнів інформаційного обміну.

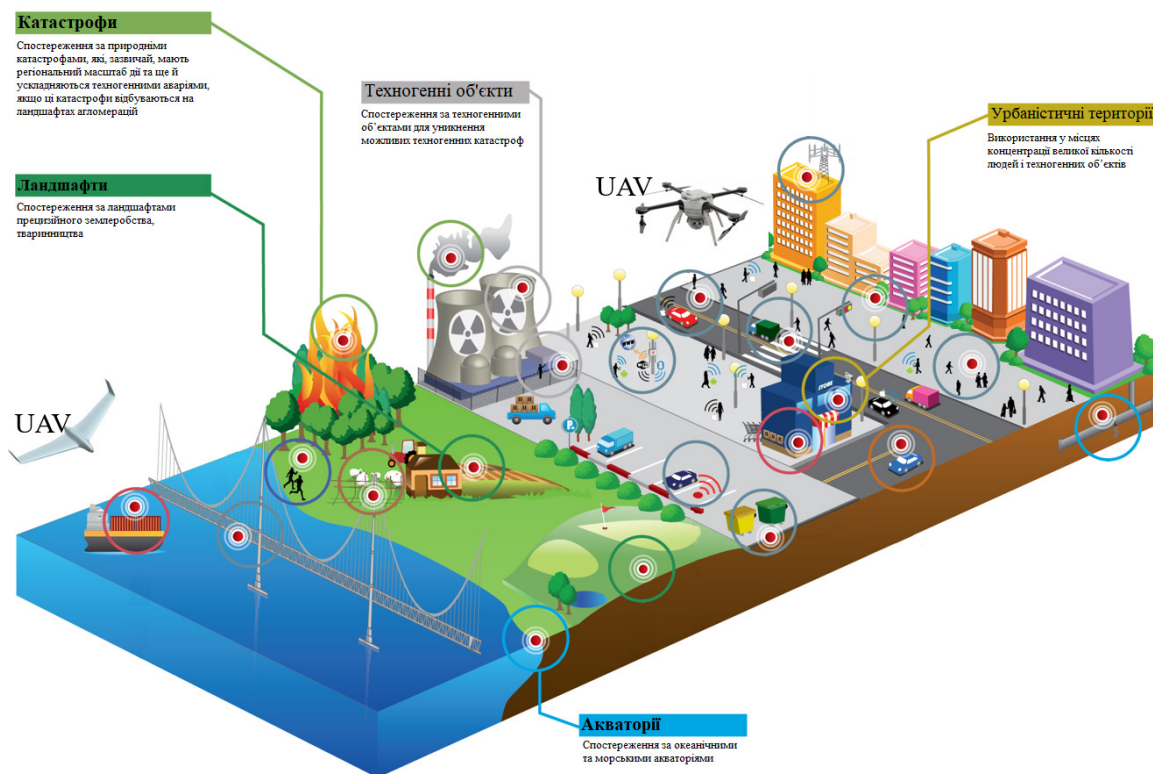


Рис. 1. Сфери застосування багаторівневої мережі телекомунікаційних аероплатформ для забезпечення зв'язності вузлів БСМ [13]

Перейдемо до більш детального викладення етапів методики.

Загальна постановка задачі оцінки зв'язності вузлів БСМ при умові застосування БПЛА.

Дано: характеристики вузлів безпроводової сенсорної мережі та телекомунікаційних аероплатформ:

N – кількість стаціонарних та мобільних сенсорних вузлів мережі та координати їх розміщення на місцевості;

N_{TA} – кількість ТА на кожному з рівнів;

$V_{дмі}$ – об'єм даних моніторингу i -го вузла, $i=1...N$;

технічні та телекомунікаційні характеристики наземних сенсорних вузлів, ТА;

кожен вузол мережі має власну систему управління, діє в кооперації з ТА (з іншими вузлами) [14].

Метод збору даних ТА: безпосередньо з вузлів або з головних вузлів кластерів.

Необхідно: визначити кількість та координати точок збору даних, порядок збору даних моніторингу з вузлів БСМ телекомунікаційними аероплатформами та траєкторію їх переміщення (позиціонування), для підтримки зв'язності та оптимізації цільових функцій управління:

1. $T_{зб} \rightarrow \min$ або $T_{зб} \leq T_{зб\text{зад}}$ (мінімізація або обмеження часу збору даних) (1)

$T_{зб} = L_m/v$; $L_m = f(n_{кл}, (x, y, h)_{кл}, \text{тоб}_{кл})$, $k=1...nk$;

2. $T_{ф} \rightarrow \max$ або $T_{ф} \geq T_{ф\text{зад}}$ (максимізація або забезпечення певного часу функціонування БСМ) (2)

Зрозуміло, що в загальній постановці задачі необхідно надати характеристики вузлів БСМ та характеристики телекомунікаційних аероплатформ першого та другого рівнів.

Наприклад, їх кількість, можливості інформаційного обміну, енергетичні характеристики. Потрібно вказати, що являє собою кожен з вузлів та кожна з телекомунікаційних аероплатформ з точки зору об'єкта керування по всім вищезазначеним характеристикам (час роботи, потужності пристроїв що приймають та передають інформацію, направленість цих пристроїв (загальноспрямованої чи вузькоспрямованої дії) ітд).

Також необхідно задати метод збору даних з БСМ, яким будемо користуватися. Наприклад, можемо використовувати кластеризацію і збирати дані з вузлів, а можемо збирати дані з кожного сенсора ітд.

В результаті розв'язання задачі потрібно сказати що повинно бути на виході. Це дані про кількість та точки просторового розташування теле-

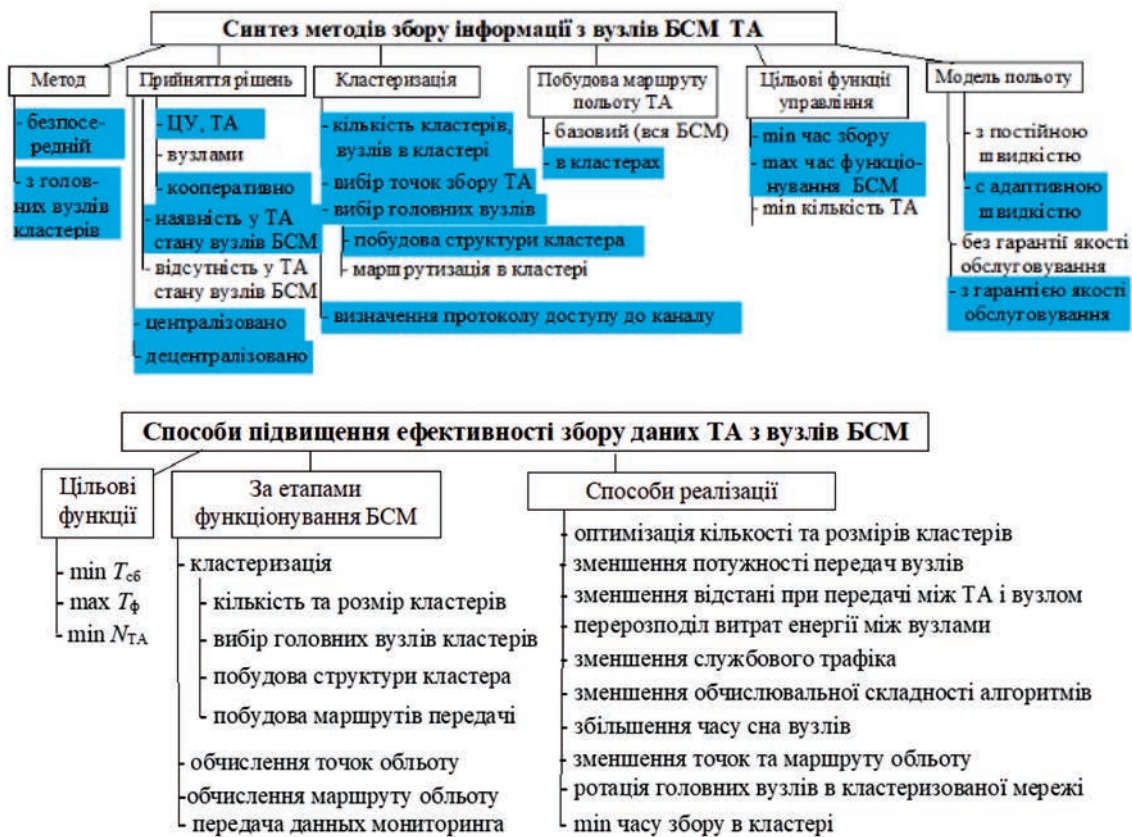


Рис. 2. Аналіз та синтез методів оцінки зв'язності вузлів БСМ при умові застосування БПЛА [11, 15]

комунікаційних аероплатформ 1-го та 2-го рівнів. При цьому це розташування має бути виконано раціонально. Тобто вони мають забезпечувати близькі до мінімальних значень критеріїв, які задаються в процесі побудови такої системи БСМ і багатотрівневого розташування телекомунікаційних аероплатформ або забезпечувати раціональність рішення – критерії не мають бути гіршими ніж задані обмеження для них.

Наступний етап – це аналіз та синтез методів оцінки зв'язності вузлів БСМ при умові застосування БПЛА (рис. 2).

У нижній частині вказано складові аналізу, а саме способи підвищення ефективності збору даних з вузлів БСМ. У верхній частині рисунку 2 вказано, яким чином виконується синтез методів.

У виділені синім кольором складові цього синтезу в даному дослідженні були внесені певні вдосконалення по відношенню до вже існуючих напрацювань вище вказаних наукових шкіл [7, 8, 9].

Далі настає етап аналізу та вибір апаратних засобів для задачі оцінки зв'язності вузлів БСМ при умові застосування БПЛА.

Щоб зрозуміти, які будуть сенсори і які задачі вони будуть виконувати, потрібно визначитися з тим якими будуть засоби першого рівня, хто ними буде керувати і засоби другого рівня.

Також потрібно зрозуміти, що являють собою вузли на яких буде збиратися первинна інформація в БСМ.

Потрібно побудувати схему розташування цих кластерів. В якості точок (чорних), що позначені рисунку 3, можна розглядати на першому рівні самі сенсори, а на другому рівні це БПЛА гелікоптерного типу (червоні точки). Ці апарати повинні

розташуватися в точках збору інформації. Як було сказано, вони збирають інформацію або з усіх сенсорів зависаючи в цій точці (червоній) або з головного сенсора (яким може бути мобільний наземний вузол).

Якщо розглядається задача взаємодії БПЛА 1-го та 2-го рівнів, то під цими точками (чорними) розуміється БПЛА 1-го рівня, а під іншими точками (червоними) – БПЛА 2-го рівня. Особливості БПЛА 1-го рівня гелікоптерного типу в тому що вони можуть зависнути в точках збору даних, а літакового типу повинні спеціальним чином баражувати поруч з такими точками, щоб забезпечити збір потрібної інформації. Якщо допускається деяке запізнення в отриманні інформації, то не обов'язково в кожній такій точці (червоній) розташовувати відповідний БПЛА. Можливо зменшити їх кількість і забезпечити переміщення або всіх або деяких БПЛА між поруч розташованими кластерами.

Алгоритм оптимізації взаємодії послідовних рівнів обміну інформацією між БСМ на поверхні землі або в водоймі та БПЛА першого рівня, а також БПЛА першого рівня з БПЛА другого рівня (див. рис. 4).

Цей алгоритм дозволяє виконати багатокритеріальну оптимізацію побудови інформаційного обміну між послідовними рівнями.

Підкреслимо, що БПЛА гелікоптерного типу переміщуються від точки до точки збору інформації або зависають в цих точках (якщо таких апаратів декілька).

В тому випадку, коли необхідно мінімізувати час збору інформації, то зрозуміло, що потрібно збільшити кількість БПЛА, які збирають цю

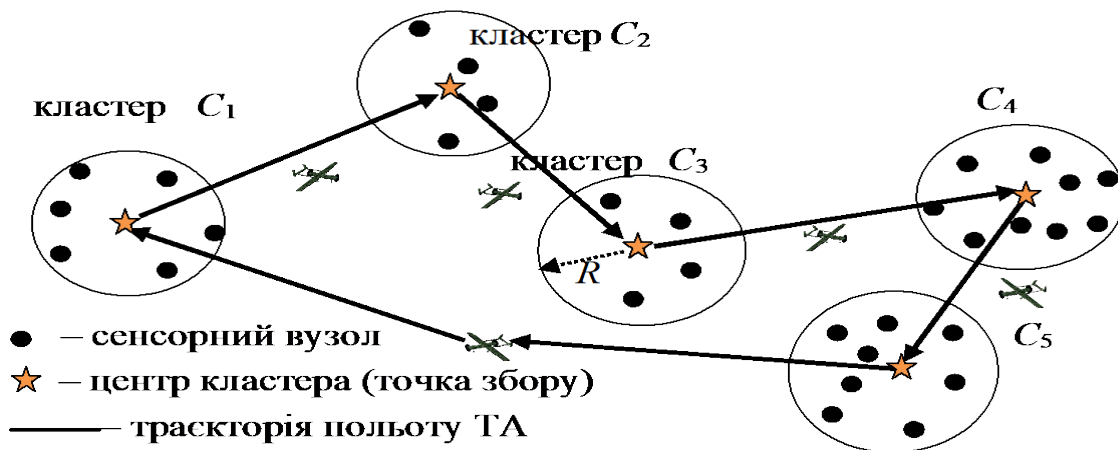


Рис. 3. Приклад маршруту обльоту ТА [9, с. 8]

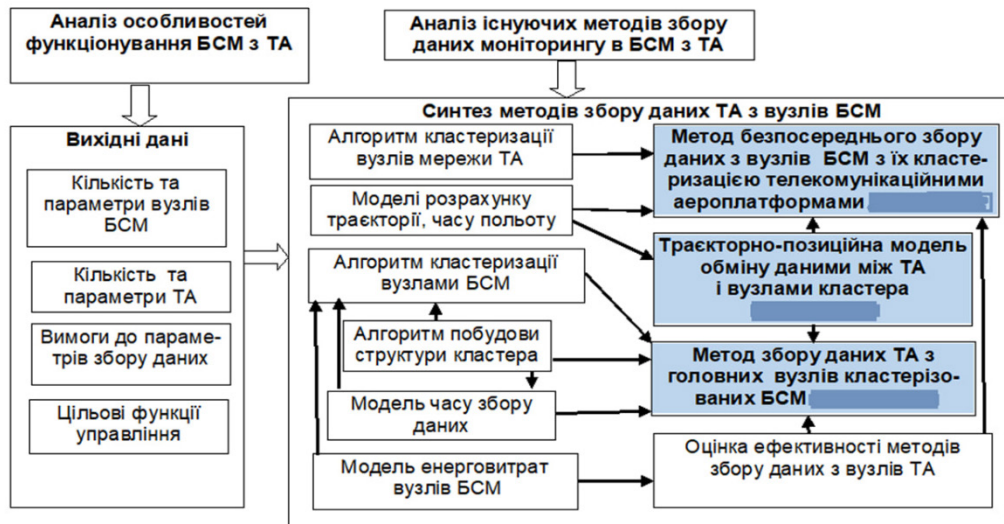


Рис. 4. Алгоритм оптимізації взаємодії послідовних рівнів інформаційного обміну: БСМ-БПЛА (1-й рівень) та БПЛА (1-й рівень)-БПЛА (2-й рівень)

інформацію і далі передають на наступний рівень. Якщо є якийсь час запізнення, що не є критичним, то можна зменшити кількість БПЛА.

Структурна схема алгоритму представлена на рисунку 4 і на ньому виділені ті блоки в яких виконано вдосконалення по відношенню до відомих алгоритмів [9, 11, 13, 15].

Початковий структурний елемент алгоритму – це аналіз особливостей функціонування. Далі виконуються стандартні процедури, що стосуються аналізу цих особливостей. А потім вже аналізуються методи збору даних і додаються вдосконалення до цих методів, якщо це потрібно в ситуації, яка склалася в конкретних умовах пошукової операції.

Висновки. В статті викладено підхід у пошуку подальших напрямків вдосконалення методичного апарату стовно пошуку найкращих дій щодо використання безпроводових сенсорних мепреж (БСМ) загалом та мобільних сенсорних мереж зокрема, що використовують для підвищення ефективності функціонування в умовах відсутності телекомунікаційної інфраструктури (тобто в умовах надзвичайної ситуації) різномірні телекомунікаційні аероплатформи (гелікоптерного та літакового типів) різнорівневого розташування.

Методика дозволяє забезпечити:

1. Можливість збору даних моніторингу від сенсорних вузлів в умовах відсутності комунікаційної інфраструктури.

2. Оптимізацію цільових функцій управління безпроводною сенсорною мережею при зборі даних з вузлів БСМ за допомогою телекомунікаційних аероплатформ.

3. Універсальність застосування: збір параметрів об'єктів та середовища при техногенних катастрофах, поля бою; моніторинг стану трубопроводів, лісів, полів агрокультур, параметрів навколишнього середовища.

4. Багатокритеріальну оптимізацію: мінімальний часу збору даних моніторингу, максимум часу життя сенсорної безпроводової мережі, мінімальна кількість задіяних ТА.

Результати розрахунків показали, що оптимізація за векторним критерієм із використанням методу ведучого критерію дала покращення за окремими показниками від 5 до 15 %. Критерії, що входили до складу векторного критерію:

1. Кількість БПЛА 1-го та другого рівнів (мінімувалась);
2. Пропускна здатність (максимізувалась);
3. Енергетичні витрати кожного БПЛА 1-го рівня (мінімувались);
4. Час збору інформації (мінімувався).

Наукова новизна полягає у вдосконаленні програми (методики) оцінки зв'язності вузлів БСМ із врахуванням можливості використання багаторівневої мережі телекомунікаційних аероплатформ в умовах відсутності телекомунікаційної інфраструктури.

І головною наковкою відмінністю є розроблена універсальна програма (методика) організації раціональної взаємодії послідовних рівнів інформаційного обміну між БСМ та БПЛА (1-го рівня) та БПЛА (1-го рівня) та БПЛА (2-го рівня).

Методика може бути використана в експертно-моделюючій системі прийняття рішень для керування пошуково-рятувальними роботами.

Список літератури:

1. Стрела Т.С., Романюк В.О., Жук О.В., Олексенко В.П. Аналіз методів підвищення та забезпечення якості обслуговування в бездротових сенсорних мережах. Збірник наукових праць ВІТІ № 1. 2018. С. 141–148. URL: https://www.viti.edu.ua/files/zbk/2018/17_1_2018.pdf
2. Nidal J. M. Optimal UAS Assignments and Trajectories for Persistent Surveillance and Data Collection from a Wireless Sensor Network. Fort Belvoir, VA : Defense Technical Information Center, 2015. URL: <https://doi.org/10.21236/ad1003575>
3. Сушин І.О., Лисенко О.І., «Програма оцінки зв'язності вузлів безпроводових епізодичних мереж при умові застосування бпла», Сімнадцята міжнародна науково-технічна конференція «ПЕРСПЕКТИВИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ», с. 36–41, 18–21 квітня 2023р, ISSN (print) 2663-502X, ISSN (online) 2664-3057. Доступ: <http://conferenc.its.kpi.ua/proc/article/view/278918/273569>
4. Романюк В.А., Стрела Т.С., Класифікація методів кластеризації в безпроводових сенсорних мережах, збірник наукових праць ВІТІ № 3, 2018, с. 79–86. Доступ: https://www.viti.edu.ua/files/rom/2018/5_2018.pdf
5. Гримуд А., Романюк В. Модель пошуку траєкторії польоту телекомунікаційною аероплатформою для збору даних з вузлів кластеризованої бездротової сенсорної мережі військового призначення. Збірник наукових праць Центру воєнно-стратегічних досліджень НУОУ імені Івана Черняхівського. 2022. С. 118–128. URL: <https://doi.org/10.33099/2304-2745/2022-1-74/118-128>
6. Романюк А.В. Цільові функції управління вузлами безпроводних сенсорних мереж для моніторингу об'єктів критичної інфраструктури / А.В. Романюк // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. Том 28 (67), № 2, 2017. С. 49–54.
7. Methodology of the tactical wireless sensor networks control / A. Zhuk et al. 2018 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), Lviv-Slavske, Ukraine, 20–24 February 2018. 2018. URL: <https://doi.org/10.1109/tcset.2018.8336374>
8. Романюк А. Методи збору даних з безпроводових сенсорних мереж телекомунікаційними аероплатформами. Автореферат. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». 2021. С. 6–11.
9. Hrymud A., Romaniuk V. Modifying a method for direct data collection by a telecommunication aerial platform from nodes of wireless sensor networks. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2022. Vol. 4, no. 9(118). P. 15–29. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.263559>
10. Chumachenko S., Lysenko O., Novikov V., Furtat O., Furtat S., Sushyn I., Development of the method of support and increase of connectivity wireless networks using UAVs, «CHALLENGES AND THREATS TO CRITICAL INFRASTRUCTURE», Detroit (Michigan, USA), 2023, p. 277-283. ISBN-10/979-8-218-22315-1, Available: <https://conference.cyberspace.org.ua/wp-content/uploads/2023/06/Monograph-09-06-2023.pdf>
11. Oleksandr Lysenko, Olena Tachinina, Valeriy Novikov, Oleksandr Guida, Fedir Kirchu, Ihor Sushyn, «Methodology of Synthesizing Digital Regulators in Precision Electric Drives for Orientation and Stabilization Target Tracking System of Mobile Robot's Directional Sensors», CEUR Workshop Proceedings, 2023, Vol. 3513, pp. 51–63. ISSN 1613-0073. Available: <https://ceur-ws.org/Vol-3513/paper05.pdf>
12. Sova O.Y. Hierarchical model of decision acceptance in intelligent manet control system / O.Y. Sova, V.A. Romanyuk, A.V. Romanyuk, O.I. Lysenko, I.V. Uryadnikova // Milan Rastislav Stefanik, Liptovskiy Mikulas. No 1, Vol. 11, 2016. P. 14 – 20. ISSN 1336-8885 (print). ISSN 2453-7632 (on-line). EBSCO
13. Романюк А.В. Класифікація задач системи управління епізодичної радіомережі на основі телекомунікаційних аероплатформ / А.В. Романюк, С.В. Валуйський, О.І. Лисенко // Міжнародна науково-технічна конференція „Проблеми телекомунікацій” ПТ-2015. Київ. 2015. С. 381–383.
14. Chumachenko S., Lysenko O., Tachinina O., Furtat O., Furtat S., Sushyn I., Method of collecting information on the condition of critical infrastructure objects from wireless sensor network nodes. «CHALLENGES AND THREATS TO CRITICAL INFRASTRUCTURE», Detroit (Michigan, USA), 2023, p. 171–178. ISBN-10/979-8-218-22315-1, Available: <https://conference.cyberspace.org.ua/wp-content/uploads/2023/06/Monograph-09-06-2023.pdf>

Sushyn I.O., Butkevych H.Yu. METHODOLOGY FOR ASSESSING THE CONNECTIVITY OF WIRELESS SENSOR NETWORK NODES WHEN USING A MULTILEVEL NETWORK OF TELECOMMUNICATION AEROPLATFORMS

World cataclysms and wars lead to the problem of lack of connectivity between network nodes. This issue is becoming more and more relevant every day, which creates many proposals and ideas for solving this complex problem. Therefore, we have analysed aspects related to the methodology for assessing the connectivity of wireless sensor network nodes using telecommunication aerial platforms based on unmanned aerial vehicles, and the clustering of wireless sensor networks. A search for methodological approaches to ensuring the

connectivity of wireless sensor network nodes in the absence of communication infrastructure is carried out. Ensuring the connectivity of WSN nodes is an important factor in obtaining the necessary information from the network, but there is still a need for an effective methodology for assessing the connectivity of wireless sensor network nodes when using telecommunication air platforms based on unmanned aerial vehicles in the absence of communication infrastructure. This creates a scientific problem, which is to improve the methodology for assessing the connectivity of wireless sensor network nodes, taking into account the possibility of using not only telecommunication airborne networks, but also satellite networks. The main goal, scientific task and subject of research related to the methodology for assessing the connectivity of wireless sensor network nodes using telecommunication airborne platforms based on unmanned aerial vehicles (UAVs) are substantiated and considered. The paper presents a methodology for assessing the connectivity of wireless sensor network (WSN) nodes, taking into account the possibility of using a multi-level network of telecommunication aerial platforms (TA) in the absence of communication infrastructure. As well as an algorithm for optimising the interaction of successive levels of information exchange. This will enable its use in an expert modelling decision-making system for managing search and rescue operations.

Key words: *WSN, telecommunication aeroplatfrom, node connectivity, multilevel network, UAV.*