

# РАДІОТЕХНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

УДК 621.396.4

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.1/07>**Валуйський С.В.**

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

**Фуртат О.В.**

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

**Сушин І.О.**

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

**Турчин Я.В.**

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

## МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ЗВ'ЯЗНОСТІ МОБІЛЬНИХ ЕПІЗОДИЧНИХ РАДІОМЕРЕЖ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ БПЛА

*У статті досліджено проблему поєднання управління рухом наявних БПЛА та розгортання нових БПЛА, щоб кількість нових розгорнутих БПЛА для підтримки зв'язку наземних абонентів могла бути мінімізована. Ця проблема сформульована як проблема мінімального дерева Штейнера з наявними мобільними точками Штейнера з обмеженням довжини ребер графу мережі.*

*Запропоновано метод, який включає три евристичні алгоритми розміщення нових БПЛА з урахуванням переміщення наявних БПЛА для задачі МДШ з наявними мобільними точками Штейнера з обмеженням довжини ребер графу мережі: алгоритми розгортання нових БПЛА до початку переміщення наявних БПЛА, переміщення наявних БПЛА до початку розгортання нових БПЛА й розгортання нових БПЛА під час переміщення наявних БПЛА.*

*Два алгоритми: розгортання нових БПЛА до початку переміщення наявних БПЛА й переміщення наявних БПЛА до початку розгортання нових БПЛА розділяють проблему та вирішують проблему розгортання, переміщення одна за одною, тоді як алгоритм розгортання нових БПЛА під час переміщення наявних БПЛА оптимізує проблему розгортання й керування рухом поперек і вирішує ці дві проблеми одночасно.*

**Ключові слова:** безпілотний літальний апарат, мобільна епізодична радіомережа, алгоритм, топологія, розміщення.

**Постановка проблеми.** Рух наземних мобільних абонентів призводить до швидкої й непередбачуваної зміни топології епізодичних радіомереж, що може зумовлювати порушення зв'язності мережі й втрати зв'язку між деякими абонентами. Підвищення зв'язності таких мереж можливо шляхом введення нових додаткових вузлів повітряного базування (далі – БПЛА), що мають більшу зону радіопокриття й можуть поєднувати роз'єднані ділянки мережі. Сьогодні недостатньо вирішеною є проблема оптимального управління положенням таких БПЛА, а саме проблема поєд-

нання управління рухом наявних БПЛА та розгортання нових БПЛА, щоб кількість нових розгорнутих БПЛА для підтримки зв'язку наземних абонентів могла бути мінімізована.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Роботи О.І. Лисенка, В.А. Романюка, С.М. Чумаченка, С.В. Валуйського присвячені теоретичним і практичним дослідженням методом підвищення пропускної здатності епізодичних радіомереж з управлінням положенням телекомунікаційних аероплатформ [1–3]. У роботі [4] автори також досліджують проблему підвищення зв'язності

мобільних епізодичних радіомереж за рахунок розміщення нових і переміщення наявних БПЛА, але математична модель не враховує дальність зв'язку повітря-повітря, що буде враховано в роботі.

**Постановка завдання.** Завдання полягає в удосконаленні математичної моделі забезпечення зв'язності епізодичних радіомереж із використанням БПЛА, також алгоритмів забезпечення зв'язності епізодичних радіомереж із використанням БПЛА.

**Виклад основного матеріалу дослідження.**

**Практична цінність БПЛА.**

БПЛА мають кілька унікальних характеристик, придатних для забезпечення ретрансляції пакетів у мобільних епізодичних радіомережах.

По-перше, гнучкість руху БПЛА може розширити сферу застосування наземних мереж особливо в сценаріях із перешкодами.

По-друге, БПЛА можуть взаємодіяти з наземними вузлами в прямій видимості, що може поліпшити зв'язність пропускну здатність між наземними вузлами.

Й останнє, але не менш важливе: БПЛА інтегровані із системою зв'язку, обчислення та управління, різними датчиками, можуть досліджувати навколишнє середовище й адаптивно керувати їх рухом. Адаптивність БПЛА робить їх придатними для надання ретрансляційних послуг для мобільних епізодичних радіомереж, які мають динамічну топологію мережі.

**Проблема розгортання нових БПЛА.** У наявних роботах при розгортанні БПЛА не враховано ситуацію, що деякі БПЛА вже були розгорнуті на

місцях. Переміщення наземних мобільних абонентів епізодичних радіомереж може призвести до того, що наявні БПЛА не забезпечувати зв'язність усіх наземні вузлів. Отже, необхідно вивести нові БПЛА, щоб підтримувати зв'язок наземних абонентів. Але, щоб мінімізувати кількість нових доданих БПЛА, необхідно враховувати як переміщення наявних БПЛА, так і розгортання нових БПЛА. Це спільне завдання оптимізації, яка оптимізує як розгортання, так і керування рухом кількох БПЛА.

Розглянемо можливість використання наявних БПЛА, переміщаючи їх у відповідні положення, щоб можна було зменшити кількість нових необхідних БПЛА. Наявні БПЛА мають обмежений діапазон руху, який залежить від швидкості БПЛА й заряду акумуляторної батареї. Для підтримки двонаправленого зв'язку між БПЛА та наземними вузлами ми припускаємо, що БПЛА мають той самий діапазон зв'язку, що й наземні вузли. На рис. 1. показаний приклад того, як керування рухом наявних БПЛА може зменшити кількість необхідних нових БПЛА. Припустимо, що в польових умовах розгорнуті два наземні вузли і два наявні БПЛА. Оскільки відстань між двома наземними вузлами більше, ніж їх діапазон зв'язку  $r$ , наземна мобільна епізодична радіомережа розділена на дві частини, що показано на рис. 1 (а).

Щоб підтримувати зв'язок наземних абонентів мобільних епізодичних радіомереж, наявні методи, які не враховують наявні БПЛА, додадуть нові БПЛА для з'єднання розділених частин, як показано на рис. 1 (б). Тут додається новий БПЛА й розгортається всередині двох наземних вузлів.

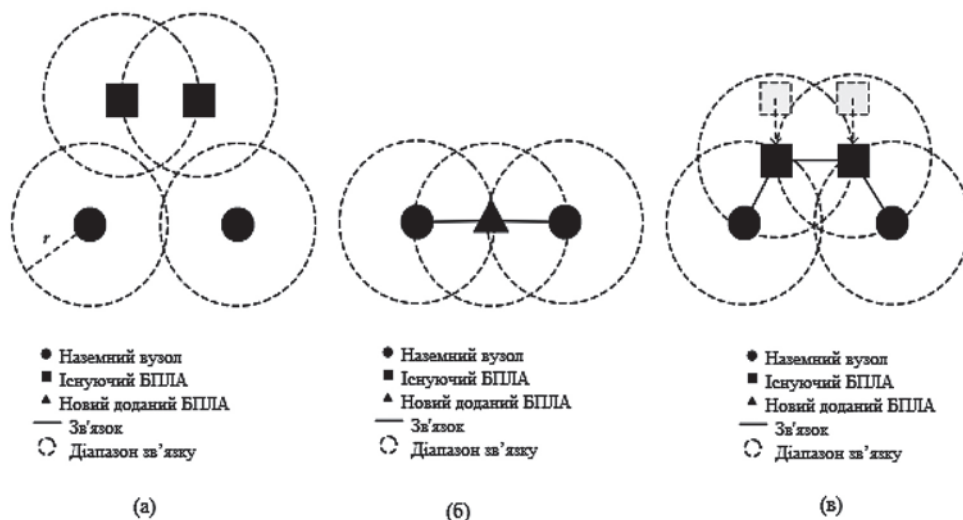


Рис. 1. Приклад, який ілюструє важливість наявних БПЛА в підтримці зв'язку наземних мобільних епізодичних радіомереж

Тому ці два наземні вузли тепер можуть зв'язатися один із одним за допомогою нового БПЛА. Якщо ми не розглядаємо наявні БПЛА, необхідно розгорнути принаймні один додатковий БПЛА, щоб підтримувати зв'язок наземних БПЛА.

Щоб зменшити капітальні витрати, доцільно намагатися зменшити кількість нових доданих БПЛА. Іншими словами, використовувати наявні БПЛА, замість того щоб їх ігнорувати. Переміщення наявних БПЛА у відповідне положення й використання наявних БПЛА як ретрансляторів, можна покращити зв'язність наземних БПЛА. На рис. 1 (в) показано переміщення двох наявних БПЛА безпосередньо до лінії, яка складається з двох наземних вузлів, доки відстань між наявними БПЛА й одним наземним вузлом не стане меншою за діапазон зв'язку  $r$ . Потім між двома наземними вузлами встановлюється зв'язок. Таким чином, підтримується зв'язок наземних абонентів і для розгортання нових БПЛА не потрібно.

У статті розглянуто проблему оптимізації розгортання та керування рухом кількох БПЛА за критерієм мінімізації кількості нових доданих БПЛА, що утворюють зв'язну мережу. Спочатку сформульовано цю проблему, як проблему мінімального дерева Штейнера (МДШ) з наявними мобільними точками Штейнера з обмеженням по довжині ребер графу мережі. Розглянемо наявний алгоритм розміщення нових БПЛА без урахування переміщення наявних БПЛА, запропонований у роботі С.В. Валуйського [1] і запропоновано три нові алгоритми розміщення як нових, так і наявних БПЛА:

- Розгортання нових БПЛА до початку переміщення наявних БПЛА;
- Переміщення наявних БПЛА до початку розгортання нових БПЛА;
- Розгортання нових БПЛА під час переміщення наявних БПЛА.

Перші два алгоритми розділяють спільну проблему на проблему розгортання нових БПЛА та проблему керування рухом наявних БПЛА. Алгоритм розгортання нових БПЛА до початку переміщення наявних БПЛА оптимізує розгортання нових БПЛА перед переміщенням наявних БПЛА, а алгоритм переміщення наявних БПЛА до початку розгортання нових БПЛА вирішує проблему навпаки. Алгоритм розгортання нових БПЛА під час переміщення наявних БПЛА – це змішаний алгоритм, який перехресно вирішує проблему переміщення та розгортання. Імітаційні експерименти показують, що всі алгоритми розміщення нових БПЛА з урахуванням переміщення

наявних БПЛА мають кращу продуктивність з точки зору кількості нових БПЛА, ніж алгоритми без урахування переміщення наявних БПЛА. Алгоритм розгортання нових БПЛА під час переміщення наявних БПЛА завжди кращий за алгоритми розгортання нових БПЛА до початку переміщення наявних БПЛА й переміщення наявних БПЛА до початку розгортання нових БПЛА, може підвищити продуктивність максимум до 70% порівняно з алгоритмом розгортання нових БПЛА до початку переміщення наявних БПЛА.

У статті припускається, що всі поточні положення наземних вузлів і наявних БПЛА відомі. Також припускається, що немає фізичних перешкод, які впливають на мобільність БПЛА або радіоканали. Цю проблему можна описати так: урахувуючи набір наземних вузлів і набір наявних БПЛА, знайти нові позиції для наявних БПЛА й позиції для нових доданих БПЛА, щоб сформувати дерево, що охоплює всі наземні вузли, щоб кількість нових доданих БПЛА зведено до мінімуму.

У цій проблемі є два обмеження. Одним із них є відстань між новим положенням і поточним положенням кожного наявного БПЛА, яка не перевищує заданий діапазон руху. Інше полягає в тому, що довжина кожного ребра в дереві не перевищує заданий діапазон зв'язку.

**Математична постановка задачі мінімального дерева Штейнера з наявними мобільними точками Штейнера з обмеженням довжини ребер графу мережі.** Оскільки ця задача подібна до задачі дерева Штейнера з мінімальною кількістю точок Штейнера, сформульовано цю задачу як задачу мінімального дерева Штейнера з наявними мобільними точками Штейнера з обмеженням по довжині ребер графу мережі. Точки Штейнера тут означають БПЛА, а обмеження по довжині ребер графу мережі – це діапазон максимальної дальності зв'язку вузла мережі, що визначається енергетикою радіолінії (потужністю передавача, чутливістю приймача, характеристиками антени тощо), місцевістю й різними завадами [8].

Формальне визначення проблеми мінімального дерева Штейнера з наявними мобільними точками Штейнера з обмеженням довжини ребер графу мережі показано таким чином.

Нехай існує набір наземних вузлів  $P$ , що характеризується поточною позицією кожного вузла  $p$ , набір наявних БПЛА  $Q$ , що характеризується поточною позицією кожного наявного БПЛА, діапазон руху БПЛА  $l$ , дальність зв'язку наземного вузла  $r$ , дальність зв'язку земля-повітря  $R$  і дальність зв'язку повітря-повітря  $D$ .

Таким чином,  $r < R$ ,

$$P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}, \quad (1)$$

$$Q = \{q_1, q_2, \dots, q_m\},$$

де  $n$  – кількість наземних вузлів,  $m$  – кількість наявних БПЛА.

Нові позиції наявних БПЛА становитимуть множину  $U$ , позиції нових доданих БПЛА –  $S$ , а дерево графу мережі  $T$  складатиметься із сукупного набору вузлів ( $P$ ,  $U$  та  $S$ ) і набору ребер  $E$ :

$$U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\},$$

$$S = \{s_1, s_2, \dots, s_k\} \quad (2)$$

$$T = \{P \cup U \cup S, E\}.$$

Тоді математичну постановку задачі можна сформулювати таким чином: знайти мінімальну кількість  $k$  нових доданих БПЛА, розміщення яких забезпечить зв'язність епізодичної радіомережі

$$\min(k). \quad (3)$$

При виконанні таких обмежень і збереження цілісності мережі:

$$\Omega_1: |e_{ij}| \leq r, (e_{ij} \in E, i, j \in P),$$

$$\Omega_2: |e_{ij}| \leq R, (e_{ij} \in E, i \in P, j \in U \cup S), \quad (4)$$

$$\Omega_3: |e_{ij}| \leq D, (e_{ij} \in E, i, j \in U \cup S),$$

$$|u_i - q_i| \leq l, 1 \leq i \leq m,$$

де  $|e_{ij}|$  – довжина ребра графу мережі між вузлами  $i$  та  $j$ .

Під цілісністю мережі розуміється наявність лише одної компоненти зв'язності графу мережі. Перевірка цілісності мережі можлива шляхом побудови мінімального дерева Штейнера (далі – МДШ) графу (наприклад, згідно з алгоритмом Пріма) та перевірка кожного ребра дерева на виконання умови  $\Omega_1, \Omega_2, \Omega_3$ . Якщо умови виконуються, то мережа є структурно зв'язаною на момент часу  $t$ , інкше необхідне певне управлінське рішення (наприклад, вивід нового (переміщення наявного) БПЛА).

**Алгоритм розміщення нових БПЛА без урахування переміщення наявних БПЛА.** Сьогодні вже існує евристичний алгоритм на основі МДШ для задачі мінімального дерева Штейнера з наявними мобільними точками Штейнера, коефіцієнт апроксимації якого в найгіршому випадку дорівнює 4 [7; 8]. Потім він ділить кожне ребро  $e$  в дереві на маленькі шматки довжиною не більше ніж  $R$ , уставляючи точки Штейнера кількістю  $[l(e)/R] - 1$ , так що всі частини в ребрі  $e$  мають однакову довжину. Тут  $l(e)$  – евклідова довжина ребра  $e$ .

Оскільки мобільні точки Штейнера не враховуються, евристичний алгоритм МДШ не може бути

використаний безпосередньо для задачі мінімального дерева Штейнера з наявними мобільними точками Штейнера з обмеженням довжини ребер графу мережі. Тут просто беруться методи Лін і Сюе як порівняльний метод. Оскільки цей метод не враховує наявні БПЛА, ми називаємо цей метод алгоритмом розміщення нових БПЛА без урахування переміщення наявних БПЛА. Цей алгоритм обчислює мінімальну кількість нових БПЛА, необхідну для підключення всіх наземних вузлів. Жоден із наявних БПЛА не буде повторно використаний для підключення наземних мобільних епізодичних радіомереж. Таким чином, кількість необхідних нових БПЛА, обчислена цим алгоритмом, має бути верхньою межею інших алгоритмів, що враховують розміщення (переміщення) наявних БПЛА. Цей алгоритм показаний на рис. 2.



Рис. 2. Блок-схема наявного алгоритму розміщення нових БПЛА без урахування переміщення наявних БПЛА

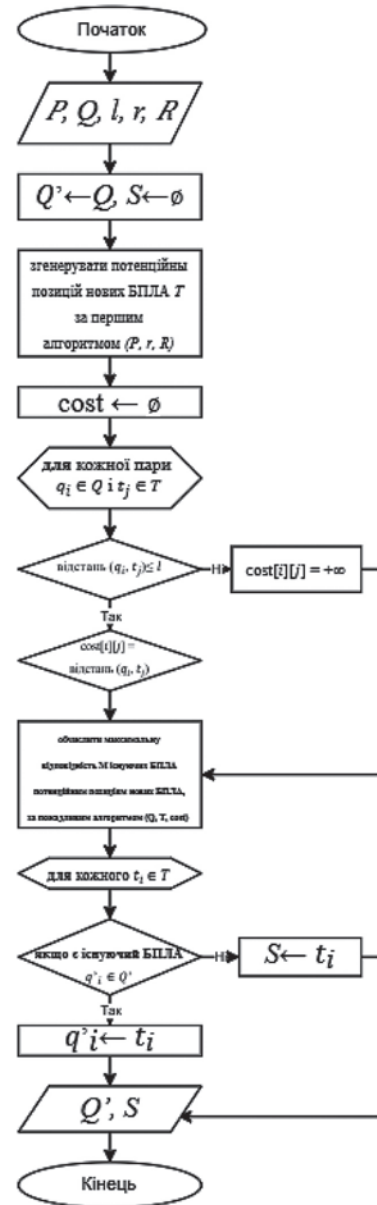
**Алгоритм алгоритми розгортання нових БПЛА до початку переміщення наявних БПЛА.**

Перший запропонований алгоритм – це алгоритм розгортання нових БПЛА до початку переміщення наявних БПЛА, який спочатку оптимізує розгортання нових БПЛА, а потім оптимізує керування переміщенням наявних БПЛА (алгоритм 1).

Основна ідея алгоритму розгортання нових БПЛА до початку переміщення наявних БПЛА показана таким чином. По-перше, використовується алгоритм розміщення нових БПЛА без урахування переміщення наявних БПЛА для створення кандидатських позицій нових доданих БПЛА без урахування наявних БПЛА. Потім ми порівнюємо наявні БПЛА з кандидатами на новододані БПЛА. Збіг між наявним БПЛА та позицією-кандидатом нового доданого БПЛА означає, що новий доданий БПЛА буде замінено наявним БПЛА шляхом переміщення цього наявного БПЛА на позицію кандидата. Оскільки діапазон руху наявних БПЛА обмежений, кількість збігів також обмежена. Тут ми використовуємо алгоритм алгоритми розгортання нових БПЛА до початку переміщення наявних БПЛА (DBM), щоб знайти максимальні збіги, щоб можна було мінімізувати кількість необхідних нових БПЛА. Алгоритм розгортання нових БПЛА до початку переміщення наявних БПЛА показаний на рис. 3.

Алгоритм переміщення наявних БПЛА до початку розгортання нових БПЛА (алгоритм 2). Основна ідея алгоритму переміщення наявних БПЛА до початку розгортання нових БПЛА полягає в такому. По-перше, використовується евристична функція для створення нових позицій наявних БПЛА  $Q'$ . Потім об'єднується набір наземних вузлів  $Q$  і набір наявних БПЛА з новими позиціями  $Q'$  у великий набір вузлів  $P \cup Q'$ . Після цього ми генеруємо мінімальне охоплююче дерево  $T$  над набором  $P \cup Q'$ , а потім процес відкидання наявних БПЛА буде використовуватися для вирізання всіх наявних БПЛА під 1 градус у дереві  $T$ , поки всі наявні БПЛА в дереві не матимуть принаймні два сусідні вузли. Для решти піддерева  $T$  з  $T$  нові БПЛА будуть додані до країв  $T$ , довжина яких перевищує  $r$ .

**Алгоритм розгортання нових БПЛА під час переміщення наявних БПЛА.** Основна ідея алгоритму розгортання нових БПЛА під час переміщення наявних БПЛА полягає в такому (алгоритм 3). Спочатку генерується повний граф  $G(V, E)$  на базових вузлах і сортуємо всі ребра  $e_{ij}$  в порядку збільшення довжини. Тоді розглянемо всі ребра  $e_{ij}$  у множині  $E$ , довжина ребра не більше  $r$ , а вер-



**Рис. 3. Блок-схема запропонованого алгоритму розгортання нових БПЛА до початку переміщення наявних БПЛА (алгоритм 1)**

шини ребра належать різним компонентам. Після цього кроку ми отримуємо кілька компонентів, які складаються з підключених заземлюючих вузлів. Тепер будемо рекурсивно переміщати наявні БПЛА й додавати нові БПЛА для з'єднання розділених компонентів, доки всі розділені компоненти не будуть з'єднані в один компонент. У кожному циклі ми спробуємо з'єднати всі пари вершин  $V_i$  і  $V_j$ , які належать різним компонентам, за допомогою двох різних методів. Один із методів використовує наявні БПЛА для встановлення ланцюга зв'язку між  $V_i$  і  $V_j$  шляхом переміщення БПЛА на певні позиції. Нові БПЛА будуть додані до

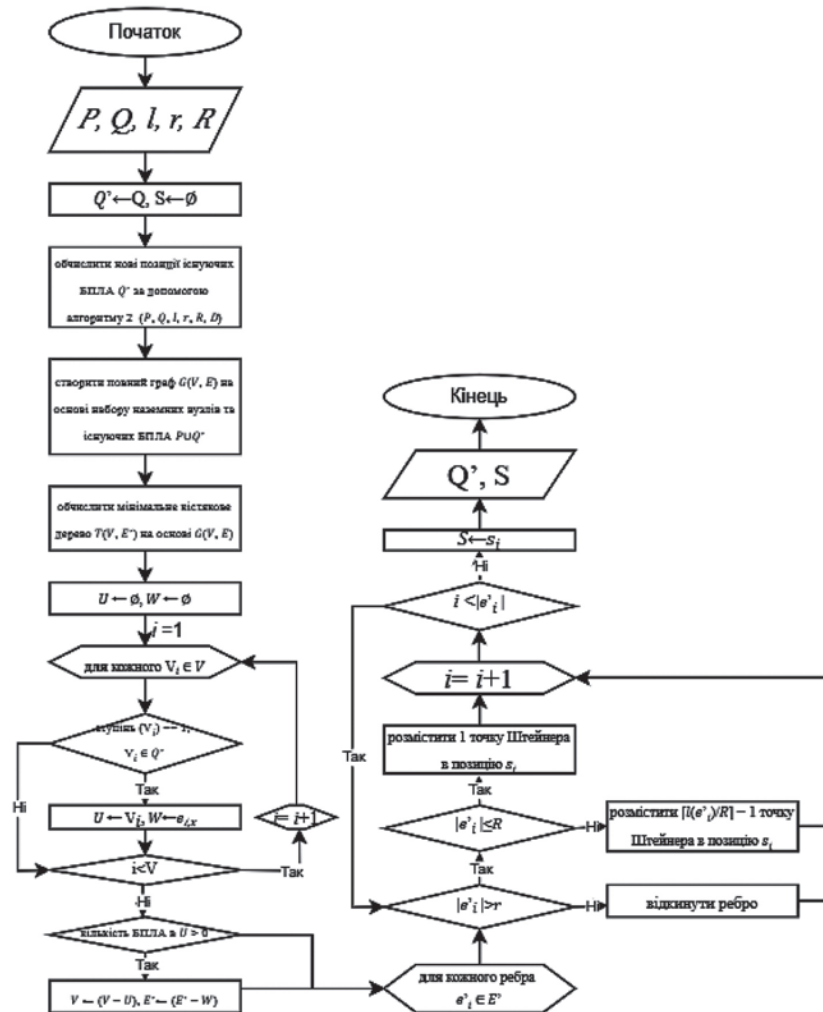


Рис. 4. Блок-схема запропонованого алгоритму переміщення наявних БПЛА до початку розгортання нових БПЛА (алгоритм 2)

країв ланцюга, довжина яких перевищує  $r$ . Інший метод не враховує наявні БПЛА та просто намагається налаштувати ланцюжок зв'язку між  $V_i$  і  $V_j$ , додаючи нові БПЛА. Кількість нових доданих БПЛА за допомогою цих двох методів буде порівнюватися, і менша кількість буде записана як мінімальна кількість нових БПЛА (MNN) для з'єднання  $V_i$  і  $V_j$ . Для з'єднання двох розділених компонентів у цьому циклі буде обрана пара вершин, яка має мінімальний MNN. Нові позиції наявних БПЛА та позиції нових доданих БПЛА, створених для з'єднання цієї пари вершин, також будуть записані як частина кінцевого результату. Алгоритм розгортання нових БПЛА під час переміщення наявних БПЛА показаний на рис. 5.

**Висновки.** У статті досліджено проблему використання БПЛА для підтримки зв'язку наземних мобільних епізодичних радіомереж. На відміну від наявних робіт, у статті розглядається умова, що деякі БПЛА вже були розгорнуті в польових

умовах. Через рух наземних абонентів мобільних епізодичних радіомереж та обмежений діапазон зв'язку наявні БПЛА не можуть з'єднати всі наземні вузли, тому для підтримки зв'язку необхідно розгорнути нові БПЛА.

Представлено задачу оптимізації, яка поєднує керування рухом наявних БПЛА та розгортання нових доданих БПЛА. Сформульовано цю задачу як проблему мінімального дерева Штейнера з наявними мобільними точками Штейнера з обмеженням довжини ребер графу мережі. Також запропоновано три алгоритми: 1) алгоритм розгортання нових БПЛА до початку переміщення наявних БПЛА, 2) алгоритм переміщення наявних БПЛА до початку розгортання нових БПЛА; 3) алгоритм розгортання нових БПЛА під час переміщення наявних БПЛА для проблеми МДШ з наявними мобільними точками Штейнера з обмеженням довжини ребер графу мережі.

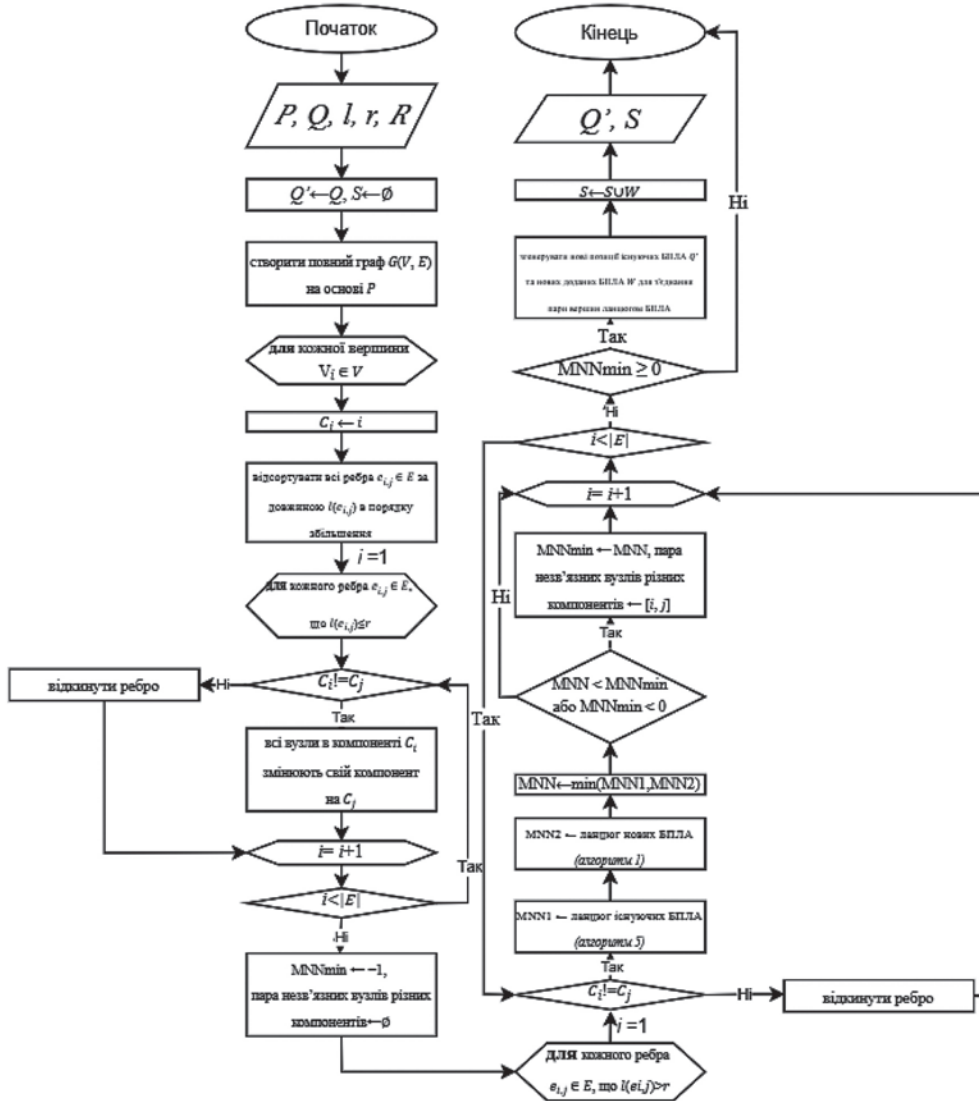


Рис. 5. Блок-схема запропонованого алгоритму розгортання нових БПЛА під час переміщення наявних БПЛА (алгоритм 3)

Після тестування продуктивності запропонованих алгоритмів у різних сценаріях зі зміною параметрів моделювання (включаючи кількість наземних вузлів, кількість наявних БПЛА, дальність зв'язку та дальність руху) можна зробити висновок, що алгоритми з урахуванням переміщення наявних БПЛА завжди мають кращу продуктивність, ніж метод без урахування переміщення наявних БПЛА з точки зору кількості нових доданих БПЛА. Серед трьох алгоритмів розміщення нових БПЛА з урахуванням переміщення наявних БПЛА алгоритм переміщення

наявних БПЛА до початку розгортання нових БПЛА кращий за алгоритм розгортання нових БПЛА до початку переміщення наявних БПЛА в більшості сценаріїв, а алгоритм розгортання нових БПЛА під час переміщення наявних БПЛА завжди має найкращу продуктивність у всіх сценаріях. У деяких сценаріях алгоритм розгортання нових БПЛА під час переміщення наявних БПЛА може зменшити щонайбільше 70% нових БПЛА порівняно з алгоритмом розгортання нових БПЛА до початку переміщення наявних БПЛА.

**Список літератури:**

1. Optimal control of telecommunication aeroplatform in the area of emergency / O.I. Lysenko, S.V. Valuiskyi, P.I. Kirchu, A.V. Romaniuk. *Telecommunication sciences*. 2013. Vol. 4. № 1. С. 14–20. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Telnu\\_2013\\_4\\_1\\_5](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Telnu_2013_4_1_5) (дата звернення: 21.12.2020).

2. The problem of finding a rational topology of wireless sensor networks using UAVs / S. Valuiskyi, A. Lysenko, T. Pryshchepa and S. Chumachenko. *Second International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology (PIC S&T)*. 2015. P. 213–215.
3. The Problems of Control in Wireless Sensor and Mobile Ad-Hoc Networks / O. Lysenko, V. Romaniuk, O. Tachinina, S. Valuiskyi. *Nechyporuk M., Pavlikov V., Kritskiy D. (eds) Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering. Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2020. Vol. 1113. URL: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-37618-5\\_33](https://doi.org/10.1007/978-3-030-37618-5_33) (дата звернення: 21.12.2020).
4. Maintaining Connectivity of MANETs through Multiple Unmanned Aerial Vehicles / Ming Zhu, Fei Liu, Zhiping Cai, Ming Xu. *Mathematical Problems in Engineering*. 2015. Vol. 14. URL: <https://doi.org/10.1155/2015/952069> (дата звернення: 21.12.2020).
5. Використання БПЛА в різних цілях. URL: <https://racurs.ru/press-center/articles/bespilotnye-letatelnye-apparaty/UAV-for-mapping-1/> (дата звернення: 21.12.2020).
6. Безпілотні літальні апарати воєнного призначення. URL: [https://www.imemo.ru/files/File/magazines/puty\\_miru/2019/02/09-Yevtodieva.pdf](https://www.imemo.ru/files/File/magazines/puty_miru/2019/02/09-Yevtodieva.pdf) (дата звернення: 08.12.2021).
7. Дослідження та розробка програмного комплексу управління БПЛА при моніторингу промислових об'єктів. URL: <http://masters.donntu.org/2017/fkita/beskrovny/diss/index.htm> (дата звернення: 01.11.2021).
8. Використання БПЛА в умовах бойових дій. URL: <https://www.alb.aero/about/articles/primeneniye-bpla-v-usloviyakh-boevykh-deystviy> (дата звернення: 28.12.2021).

**Valyuskiy S.V., Furtat O.V., Shushin I.O., Turchyn Ya.V. METHOD OF INCREASING THE CONNECTION OF MANET NETWORKS WITH THE USE OF UAVS**

*The article examines the problem of combining the management of existing UAVs and the deployment of new UAVs so that the number of new deployed UAVs to maintain ground-based UAVs can be minimized. This problem is formulated as the problem of a minimal Steiner tree with existing Steiner mobile points with constraint on the length of the edges of the network graph and we prove NP the completeness of this problem.*

*A method is proposed that includes three approximate algorithms for placing new UAVs taking into account the movement of existing UAVs for the MDS problem with existing Steiner mobile points with limiting the length of the edges of the network graph: algorithms for deploying new UAVs before moving existing UAVs deployment of new UAVs during the relocation of existing UAVs.*

*Two algorithms: deploying new UAVs before moving existing UAVs and moving existing UAVs before deploying new UAVs share the problem and solve the problem of deployment, moving one after another, while the algorithm of deploying new UAVs while moving existing UAVs and solves these two problems simultaneously.*

**Key words:** *unmanned aerial vehicle, mobile episodic radio network, algorithm, topology, location.*