УДК 621.396:004.7:623.746

DOI https://doi.org/10.68346/978-617-95591-7-4-2026-80

МЕТОДИКА АДАПТИВНОЇ РЕКОНФІГУРАЦІЇ ТАКТИЧНОЇ MESH-МЕРЕЖІ УПРАВЛІННЯ ІНТЕГРОВАНИМ УГРУПОВАННЯМ БЕЗПІЛОТНИХ ПОВІТРЯНИХ І РОБОТИЗОВАНИХ НАЗЕМНИХ СИСТЕМ В УМОВАХ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ БОРОТЬБИ

Білаш О.О.

ад'юнкт,

Національна академія Національної гвардії України

https://orcid.org/0009-0008-5696-8439

Анотація. Запропоновано методику застосування методу адаптивної реконфігурації тактичної mesh-мережі управління інтегрованим угрупованням безпілотних повітряних і роботизованих наземних систем в умовах радіоелектронної боротьби. Методика визначає послідовність оцінювання поточного стану, встановлення потреби в реконфігурації, формування й перевірки альтернатив, прогнозування функціональної керованості, вибору раціонального рішення та контролю результатів. Її призначення – перехід від математичної постановки задачі до відтворюваної процедури обґрунтування рішень.

Ключові слова: тактична mesh-мережа, безпілотні повітряні системи, наземні роботизовані системи, інтегроване угруповання, радіоелектронна боротьба, адаптивна реконфігурація, функціональна керованість.

Спільне застосування безпілотних повітряних і роботизованих наземних систем передбачає обмін керуючими командами, телеметрією, службовими та інформаційними повідомленнями через мережу зі змінною топологією. Під

впливом радіоелектронної боротьби втрата окремих каналів, перевантаження проміжних вузлів і перебудова маршрутів можуть порушити керуючий обмін навіть за формального збереження загальної зв’язності. Тому розв’язання задачі не можна обмежувати вибором найкоротшого маршруту або локальним поліпшенням якості окремого радіоканалу.

У попередніх дослідженнях обґрунтовано показники стійкості mesh-мережі, модель функціонування інтегрованого угруповання та метод її адаптивної реконфігурації. Проте для практичного застосування математичного апарату необхідна методика, яка визначає, які відомості збирати, у якій послідовності проводити розрахунки, як перевіряти допустимість альтернатив і за яких умов завершувати процес вибору рішення.

Метою доповіді є викладення методики адаптивної реконфігурації тактичної mesh-мережі управління інтегрованим угрупованням безпілотних повітряних і роботизованих наземних систем в умовах радіоелектронної боротьби та обґрунтування послідовності її застосування для збереження функціональної керованості за встановлених ресурсних і часових обмежень.

Методика є послідовністю взаємопов’язаних інформаційних, розрахункових, оптимізаційних і контрольних процедур. Її виходом є не загальна оцінка працездатності мережі, а обґрунтований варіант реконфігурації із зазначенням необхідних змін, очікуваного рівня функціональної керованості, ресурсних витрат та умов реалізації. Методика використовує раніше розроблені моделі і критерії без повторного виведення їх математичного апарату.

На першому етапі формують вихідні дані про інтегроване угруповання і мережу. Визначають склад безпілотних повітряних апаратів, наземних роботизованих комплексів, пунктів управління і ретрансляторів, функціональні ролі вузлів, їхні доступні ресурси та поточні зв’язки. Окремо встановлюють вимоги до доставки команд, телеметрії, службових повідомлень і корисних

даних. За відсутності підтверджених вихідних даних застосовують інтервальні або сценарні оцінки та явно фіксують відповідні припущення.

Другий етап передбачає оцінювання поточного стану мережі. Для критичних пар «пункт управління – виконавча платформа» встановлюють наявність маршруту, надійність і своєчасність доставки керуючих повідомлень та придатність доступних радіоліній. Розраховують раніше обґрунтовані інтегральні показники мережевої стійкості та функціональної керованості. Принципово важливо відрізняти формальну топологічну зв’язність від можливості реалізувати управління в допустимий час.

На третьому етапі встановлюють необхідність реконфігурації. Підставою є порушення обов’язкових вимог до критичних керуючих зв’язків, зниження показників нижче заданих порогів або прогнозована деградація мережі. Якщо всі обов’язкові умови виконуються, поточну конфігурацію зберігають і продовжують спостереження. Така перевірка запобігає невиправдано частим перебудовам, що самі створюють додаткове навантаження й тимчасові перерви передавання даних.

Четвертий етап полягає у формуванні альтернатив реконфігурації. Вони можуть передбачати зміну допустимих маршрутів, перерозподіл функціональних ролей транзитних вузлів, уточнення пріоритетності інформаційних потоків та вибір дозволених параметрів радіообміну. Для кожної альтернативи визначають склад необхідних змін. Важливо, що названі складові розглядають узгоджено: зміна параметрів радіолінії може поліпшити один маршрут, але водночас погіршити обслуговування інших вузлів.

П’ятий етап охоплює попереднє відсіювання технічно неприйнятних рішень. Перевіряють доступність вузлів, допустимість маршрутів, енергетичні й частотні обмеження, сумісність режимів роботи, час виконання перебудови та мінімальні вимоги до керуючого обміну. Альтернативи, що порушують хоча б

одну обов’язкову умову, не допускають до подальшого порівняння незалежно від можливого поліпшення інтегрального показника.

На шостому етапі прогнозують стан мережі для кожної допустимої альтернативи. З використанням моделі інтегрованого угруповання оцінюють очікувані зміни доступності критичних керуючих зв’язків, затримок, успішності доставки команд, працездатності фізичного рівня та витрат на реконфігурацію. Результати мають розраховуватися за єдиними припущеннями, однаковими сценаріями завадового впливу й узгодженим набором початкових даних, що забезпечує коректне порівняння альтернатив.

Сьомий етап передбачає вибір раціонального рішення. Порівнюють прогнозований рівень функціональної керованості з урахуванням структурної ціни реконфігурації, додаткового енергоспоживання і службового навантаження. Найбільше значення інтегрального критерію не є достатньою підставою для вибору, якщо порушено граничні вимоги до окремого критичного керуючого зв’язку. За однакової прийнятної результативності перевагу доцільно надавати менш ресурсомісткому і простішому в реалізації рішенню.

Восьмий етап полягає у застосуванні обраної конфігурації та перевірці фактичного результату. Повторно визначають працездатність керуючих маршрутів, показники стійкості й функціональної керованості та зіставляють їх із прогнозом. Якщо обов’язкові порогові вимоги виконано, рішення фіксують як прийнятне для поточного стану системи. За невиконання вимог уточнюють вихідні оцінки й повторно формують допустимі альтернативи з урахуванням уже застосованих змін.

Окремим результатом методики є регламент дій за відсутності допустимої альтернативи. У такому випадку не можна формально вибирати найкращий із неприйнятних варіантів: необхідно зафіксувати, які саме обмеження не виконано, та сформувати висновок щодо неможливості

забезпечення заданого режиму управління в поточних умовах. Це робить процедуру придатною не лише для оптимізації, а й для обґрунтованого виявлення меж працездатності системи.

Для перевірки обчислювальної реалізованості методики доцільно використовувати модельний приклад із кількома функціонально неоднорідними вузлами і декількома допустимими маршрутами. Спочатку обчислюють показники початкової конфігурації, потім вводять сценарне погіршення доступності окремих радіоліній, формують альтернативи та для кожної отримують прогнозовані показники. Порівняльні розрахунки повинні окремо показати вплив лише перебудови маршрутів і узгодженої зміни мережевих та радіотехнічних параметрів. Конкретні числові висновки мають спиратися на відтворювані експериментальні дані, а не на умовно заданий приріст.

Перевірку результативності доцільно проводити серіями імітаційних експериментів за однакових початкових станів, але за різних сценаріїв динаміки топології, завадового впливу та завантаження. Для кожної серії варто порівнювати вихідну мережу без спеціальної адаптації, варіант зі стандартною перебудовою маршрутів та мережу з реалізацією методики. Поряд із середніми значеннями показників необхідно оцінювати час реконфігурації, частку сценаріїв з невиконаними критичними вимогами і чутливість результатів до припущень моделі. Сценарні розрахунки підтверджують внутрішню узгодженість процедури, але не замінюють натурної перевірки.

Практична значущість методики полягає у визначенні відтворюваної послідовності дій для підтримки рішень щодо збереження керуючого обміну неоднорідного угруповання. Вона об’єднує результати оцінювання стану, формування альтернатив, перевірки обмежень, вибору рішення та контролю його наслідків. Така процедура може бути покладена в основу спеціалізованого програмного засобу підтримки реконфігурації й використовуватися під час імітаційного дослідження перспективних мереж управління.

Таким чином, запропонована методика забезпечує послідовний перехід від опису стану тактичної mesh-мережі до формалізованого обґрунтування її реконфігурації за критерієм збереження функціональної керованості. На відміну від ізольованого вибору маршруту, вона враховує взаємозв’язок мережевих рішень, параметрів радіообміну та їхніх ресурсних наслідків. Подальші дослідження необхідно спрямувати на програмну реалізацію алгоритму, повторювані імітаційні експерименти, перевірку часових характеристик і визначення області практичного застосування.

Список використаних джерел:

1. Іохов О. Ю., Білаш О. О. Оцінювання стійкості mesh-мережі системи управління безпілотними системами в умовах дії засобів РЕБ. Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України. 2025. № 2 (46). С. 33–39. DOI: 10.33405/2409-7470/2025/2/46/352559.

2. Іохов, О. Ю., & Білаш, О. О. (2025). Оцінювання стійкості mesh-мережі системи управління безпілотними системами в умовах дії засобів РЕБ. Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України, (2 (46), 33–39. https://doi.org/10.33405/2409-7470/2025/2/46/352559.

3. Білаш, О. О. , Лаврут Т.В. Метод адаптивної реконфігурації тактичної MESH-мережі управління інтегрованим угрупованням безпілотних повітряних і роботизованих наземних систем в умовах радіоелектронної боротьби. Військово-технічний збірник, 34, №1, 2026. – С.78–84.