

МОДЕЛЬ СТВОРЕННЯ БОЙОВИХ ПОРЯДКІВ ДЛЯ ВИКОНАННЯ ЗАВДАНЬ ІЗ ЗАХИСТУ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ВІД ЗАСОБІВ ПОВІТРЯНОГО НАПАДУ

Проведено аналіз та моделювання організаційних структур, процесів і методів застосування мобільних вогневих груп для захисту об'єктів критичної інфраструктури, що дасть змогу підвищити наукове обґрунтування та якість управління оборонними заходами, забезпечити їхню відповідність сучасним викликам у сфері військової безпеки, а також підвищити рівень готовності до швидкого реагування в умовах високої інтенсивності бойових дій.

Створено гіпотезу організації висування мобільних вогневих груп. Наведено обмеження та допущення до моделі. Створено способи зайняття вогневих позицій залежно від рівня загрози та доступних ресурсів.

Ключові слова: Національна гвардія України, засоби повітряного нападу, об'єкти критичної інфраструктури, мобільна вогнева група, вогневі позиції.

Постановка проблеми. Зі збільшенням загроз, пов'язаних із застосуванням високотехнологічних засобів повітряного нападу, зростає необхідність оперативного й ефективного захисту об'єктів критичної інфраструктури, що є складним та багатограним завданням для сучасних систем оборони. Водночас наявні методи організації протиповітряної оборони часто не враховують динамічний характер бойової обстановки, особливості пересування і швидкої дії мобільних вогневих груп (МВГ), а також немає єдиного науково обґрунтованого підходу до організації високоефективного висування та зайняття вогневих позицій мобільними вогневими групами у відповідь на швидкоплинні загрози.

Недостатній рівень автоматизації та алгоритмічної забезпеченості процесів планування і реалізації заходів висування сприяє зниженню оперативної готовності підрозділів, ускладнює своєчасне формування вогневих позицій та унеможливорює швидке адаптування до змін бойової обстановки. Унаслідок цього виникає ризик зниження ефективності застосування мобільних вогневих груп, що зменшує рівень захисту об'єктів критичної інфраструктури від сучасних засобів повітряного нападу.

Актуальною проблемою є брак цілісної, науково обґрунтованої моделі організації процесів висування та зайняття мобільних вогневих груп за умов динамічного розвитку бойової обстановки, що негативно впливає на швидкість реагування і рівень захисних заходів у сучасних умовах. Це, зі свого боку, ускладнює забезпечення надійного захисту об'єктів критичної інфраструктури від засобів повітряного нападу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Згідно з аналізом наукового джерела [1] розроблено програму, призначену для удосконалення необхідних знань, умінь та навичок особовим складом, який виконує бойові завдання як мобільні вогневі групи для виконання завдань протиповітряної оборони (ППО). Актуальність цього видання полягає у створенні дієвої системи підготовки військовослужбовців у навчальних центрах (школах підготовки), одним із важливих елементів якої є підготовка (вдосконалення підготовки) особового складу мобільних вогневих груп, здатного виконувати завдання за призначенням.

У статті [2] на основі аналізу виконання завдань силами оборони України, що ведуть боротьбу з безпілотними літальними апаратами (БПЛА) ударного типу під час відсічі збройній агресії РФ проти України, розглянуто питання ефективності виконання завдань вогневими групами, які застосовують крупнокаліберні кулемети, та наведено вирішення деяких виявлених проблемних питань, якими є розпізнавання, контроль та супроводження цілі, що рухається у повітрі (БПЛА), з метою забезпечення ефективного ведення вогню на ураження зі стрілецької крупнокаліберної зброї.

Досліджуючи методи та рівні засобів ППО в протидії збройній агресії РФ, одним з яких є мобільні вогневі групи, які оснащені стрілецькою крупнокаліберною зброєю і виконують завдання у нічний час, автори вказали на деякі проблемні питання, до яких належать системи виявлення цілей (БПЛА) у повітрі, а також засоби наведення та корегування вогню [2].

Запропоновано також комплексне вирішення цих питань шляхом проведення певних дослідних експериментів та фактичної апробації під час безпосереднього виконання завдань зі знищення ударних БПЛА бійцями Державної прикордонної служби та Національної поліції України у складі мобільних вогневих груп [2].

У публікації [4] відзначено, що мобільні вогневі групи у діяльності Сил територіальної оборони вже продемонстрували свою ефективність у знищенні десятків, якщо не сотень, ворожих повітряних цілей. Передусім це стосується ударних БПЛА, що майже щоночі атакують нашу країну. Проте сили оборони України безперервно відточують свої навички та налагоджують координацію дій для ефективної оборони.

Автор статті [5] показує, як бійці мобільних вогневих груп активно опановують сучасний інтерактивно-мультимедійний тир, де відпрацьовують точність ураження повітряних цілей. Віртуальні тренування дають можливість максимально наблизити навчання до реальних викликів, з якими воїни стикаються під час бойових чергувань.

У методичних рекомендаціях [6] щодо боротьби з безпілотними літальними апаратами іранського виробництва «камікадзе», «shahed-136» («герань-2») опубліковано основні положення відносно порядку знищення стрілецькою зброєю БПЛА типу «камікадзе», роз'яснено прийоми стрільби по повітряних цілях з урахуванням винесення точки прицілювання та тактико-технічних характеристик БПЛА.

Метою статті є вивчення та обґрунтування ефективних методів організації висування і заняття вогневих позицій мобільними вогневими групами для забезпечення надійного захисту об'єктів критичної інфраструктури від сучасних засобів повітряного нападу, а також розроблення рекомендацій щодо вдосконалення процесів застосування мобільних вогневих груп і підвищення оперативності реагування в умовах застосування засобів повітряного нападу.

Виклад основного матеріалу. У сучасних умовах зростання геополітичних ризиків і активізація засобів повітряного нападу зумовлюють необхідність удосконалення систем протиповітряної оборони, особливо у контексті об'єктів критичної інфраструктури. Ефективна організація мобільних вогневих груп є ключовим компонентом підвищення рівня захисту та оперативної реакції на загрози, які застосовує противник під час нанесення масованих атак по території України.

У процесі формування вогневих позицій МВГ було враховано широкий спектр чинників, включно з оперативною обстановкою, технічним оснащенням, тактичними особливостями та можливостями швидкого розгортання. Особлива увага приділена питанням вибору ключових позицій МВГ, що залучаються, їхньої підготовки, маскування з метою зменшення ризиків виявлення противником.

Для забезпечення вогневої активності та координації дій МВГ використовуються сучасні системи зв'язку, які дають змогу швидко передавати цільові координати та координувати вогневі маневри.

Застосування сучасних засобів радіоелектронної боротьби дає можливість зменшити ефективність засобів повітряного нападу противника та забезпечити безперешкодне функціонування вогневих засобів з позицій у складних умовах. Вогнева позиція повинна забезпечити оптимальний розподіл сил і засобів, їхню підготовку до висування та бойову готовність, а також інтеграцію із системами автоматизованого управління ціллю. *Система автоматизованого управління ціллю* – це сукупність програмно-апаратних засобів, які використовуються для автоматизації процесів виявлення, відстеження, захоплення та супроводу цілей, а також для забезпечення їхнього ураження.

З метою забезпечення виконання завдань із захисту об'єктів критичної інфраструктури від засобів повітряного нападу запропоновано побудувати структуровану модель організації висування та заняття вогневих позицій мобільними вогневими групами для виконання завдань із захисту об'єктів критичної інфраструктури від засобів повітряного нападу, що дозволить визначити конкретизовані позиції для нанесення ураження засобам повітряного нападу, а також підвищити рівень безпомилковості й швидкості прийняття рішень у кризових ситуаціях.

Гіпотеза організації висування і зайняття вогневих позицій мобільними вогневими групами для виконання завдань із захисту об'єктів критичної інфраструктури від засобів повітряного нападу – це залежність геопросторового розташування мобільних вогневих груп, наявної транспортної мережі, метрологічних умов та пори доби на момент виконання завдань від кількості засобів повітряного нападу, висоти польоту, швидкості і напрямку руху на об'єкт критичної інфраструктури.

Обмеження та допущення до моделі:

- усі бойові засоби працюють на 100 % ефективності, без технічних збоїв та несправностей;
- особовий склад і техніка мають відповідати штату підрозділу, що залучається до виконання завдань;
- визначено актуальні та точні дані про розташування перешкод, об'єктів і засобів нападу;
- є хоча б один маршрут, що задовольняє висування на вогневу позицію;
- ураховуються лише внутрішні параметри (радіус дії, швидкість, кількість), зовнішніх чинників (погода, технології маскування ворога) немає;
- підготовка особового складу задовільна;
- швидкість руху транспорту залежить від якості доріг;
- усі дії і реакції відбуваються послідовно та синхронізовано згідно з розрахунком;
- передача команд та сигналів, даних між компонентами системи є бездоганною, без затримок або втрат;
- кількість МВГ обмежена і не може перевищувати наявний склад або технічні можливості;
- реалізація вогневих позицій повинна бути проведена у визначені часові межі, що враховують швидкість реагування;
- вогневі засоби мають можливість атакувати або перехоплювати засоби нападу тільки у межах тактико-технічних характеристик озброєння;
- імовірність ураження ключових об'єктів, не повинна перевищувати вірогідності пропуску засобів повітряного нападу МВГ;
- взаємодія між силами має враховувати можливі перешкоди та збої у зв'язку, тому потрібно передбачати резерви чи альтернативні маршрути.

Вибір способу створення вогневих позицій залежить від конкретних умов об'єкта, рівня загрози та доступних ресурсів. Загалом є три основні підходи.

Ручне планування – це традиційний спосіб, за якого військові фахівці на основі карт і досвіду визначають вогневі позиції вручну. Перевагами цього методу є його гнучкість і врахування тактичних особливостей, недоліками – залежність від людського чинника і можливі помилки.

Автоматизоване або комп'ютерне планування – цей спосіб використовує сучасні програмні системи для моделювання, аналізу й автоматичного визначення вогневих позицій. Такий підхід дає змогу швидко врахувати велику кількість чинників, підвищуючи точність і зменшуючи час реагування. Його переваги особливо актуальні у високоризикових ситуаціях, коли швидкість має важливе значення.

Гібридний підхід – це поєднання автоматичних систем і людського контролю, коли програми генерують можливі варіанти визначення вогневих позицій, а фахівці корегують їх, урахувавши тактичну обстановку.

Мобільні вогневі групи Національної гвардії України (НГУ) відіграють ключову роль у забезпеченні сучасного рівня обороноздатності та здатності швидко реагувати на загрози з боку засобів повітряного нападу, зокрема у контексті нинішньої агресії РФ. Мобільні вогневі групи здатні швидко переорієнтовуватися та змінювати місцезнаходження залежно від зони відповідальності. Це ускладнює ворогу планування і проведення повітряних атак, оскільки він не може точно передбачити місце розміщення вогневих засобів. У зв'язку з цим розглянемо на прикладі Алгоритму А*, який був винайдений і описаний у 1968 р. такими вченими, як Пітер Харт, Нільс Нільсон та Бертрам Рафасель. Алгоритм А* подібний до алгоритму Дейкстри тим, що його можна використовувати для знаходження найкоротшого шляху. Алгоритм А* подібний до жадібного пошуку за найліпшим варіантом (Greedy Best-First-Search) тим, що він може використовувати евристику для самонаведення. Секрет його успіху полягає у тому, що він поєднує інформацію, яку використовує алгоритм Дейкстри (надаючи перевагу вершинам, близьким до початкової точки), та інформацію, яку використовує жадібний пошук за найліпшим варіантом (надаючи перевагу вершинам, близьким до мети). Алгоритм пошуку А* знаходить оптимальний шлях між двома вершинами в графі. Залежно від функції вартості, яка задає кожному ребру його «вагу», оптимальність може означати найкоротший, найшвидший або навіть найпростіший шлях. Теоретично, алгоритм може розв'язувати всі задачі, які можна подати у вигляді задачі пошуку оптимального шляху на графі. Алгоритм А* використовується для планування шляхів висування. Для планування шляхів як евристична функція використовується лінійна відстань до цілі, оскільки згідно з нерівністю трикутника вона дає оптимальні оцінки [7]. У випадку ведення бойових дій ціна об'єкта, який захищають підрозділи НГУ, набагато більша за оціночну вартість витрат на збиття засобів повітряного нападу [8]. Рішенням наукового завдання є часткове використання

Алгоритму A^* з уведенням у нього певних доповнень, які будуть необхідні для успішного виконання поставлених завдань.

Як приклад варіант висування мобільної вогневої групи наведено на рис. 1, на якому визначено точку 8 як початок руху МВГ, що рухається по прямій лінії ω до точки розгортання на відстань (S), яка забезпечує безпеку для об'єкта критичної інфраструктури. Відстань ми можемо визначити за формулою:

$$S = V \times t, \quad (1)$$

де S – відстань від точки 8 до точки розгортання;
 V – швидкість мобільної вогневої групи;
 t – час проходження шляху.

Відстань, яка обчислюється за формулою (1), підходить для розв'язування простих задач визначення відстаней, які група подолає, знаючи швидкість і час проходження маршруту. Проте, урахувавши рельєф місцевості та перешкоди, які трапляються на маршруті руху в реальних умовах, відстань малоймовірна. Через це в реальній обстановці маршрут буде набагато складнішим і повинен враховувати несприятливі та сприятливі точки для побудови маршруту.

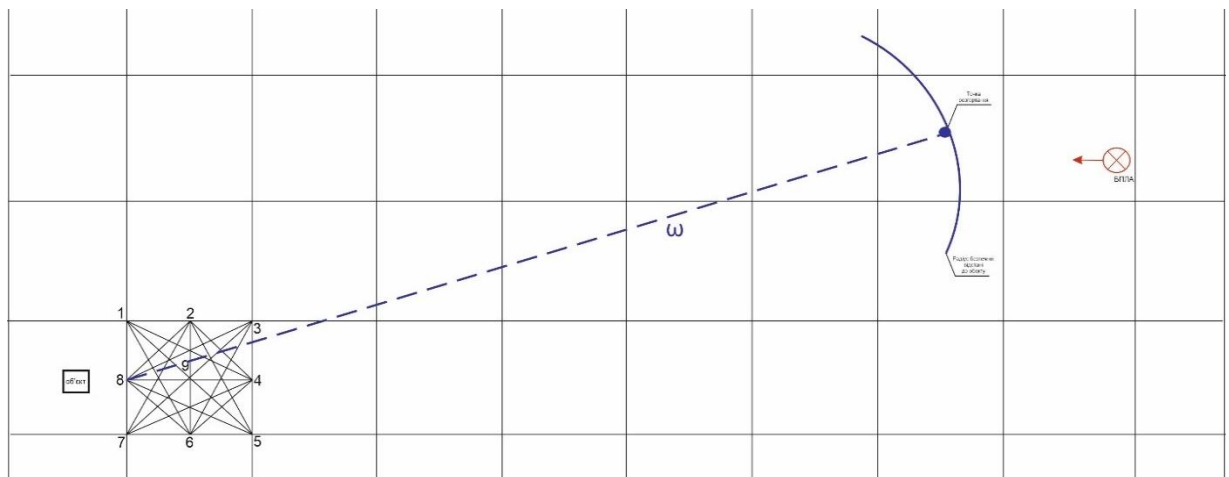


Рисунок 1 – Найкоротший маршрут руху мобільної вогневої групи

У статті наведено варіант руху мобільної вогневої групи по 9 вершинах. Розбивши карту на уявні квадрати, визначаємо точки одного квадрата (рис. 2).

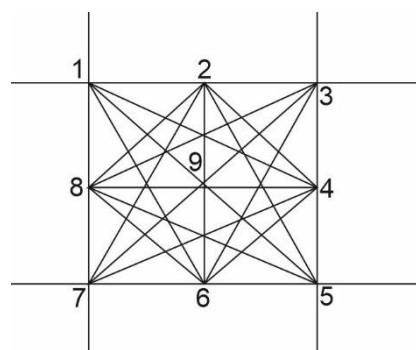


Рисунок 2 – Матриця розподілу маршрутів руху з урахуванням можливих напрямків

Сценарій було побудовано за допомогою створеного алгоритму, в якому для кожного квадрата було визначено матрицю сприятливих та несприятливих точок.

Алгоритм вибору точок буде побудовано комп'ютерною програмою:

program a-twostar

// Ініціалізація списку відомих точок, список сприятливих та несприятливих точок відомий (не відомий)

// (f-значення початкової точки відоме)

openlist.enqueue(startpoint, 1 or 2 or 3 or 4 or 5 or 6 or 7 or 8 or 9, Square.letter/number)

// цей шлях буде пройдений доки:

```

// – буде знайдено оптимальний розв'язок
// – встановлено, що розв'язків немає
repeat
    // Вилучити несприятливі точки
    currentNode := openlist.removeUnfavorable points()
    // Досягнута точка є сприятливою для переходу в інший квадрат?
    if currentNode == favorable transition point then
        Square.letter/number.continued(favorable transition point, 1 or 2 or 3 or 4 or 5 or 6 or 7 or 8)
// цей шлях буде пройдений доки:
// – буде знайдено оптимальний розв'язок
// – встановлено, що розв'язків немає
repeat
    // Вилучити несприятливі точки
    currentNode := openlist.removeUnfavorable points()
    // Досягнута точка розгортання?
    if currentNode == deployment point then
        the target is impressed==if the target not impressed
return Backup point
    Square.letter/number.continued(favorable transition point, 1 or 2 or 3 or 4 or 5 or 6 or 7 or 8)
// цей шлях буде пройдений доки:
// – буде знайдено оптимальний розв'язок
// – встановлено, що розв'язків немає
repeat
    // Вилучити несприятливі точки
    currentNode := openlist.removeUnfavorable points()
    // Досягнута запасна точка?
    if currentNode == backup point then
        the target is impressed
    return Return route
    // точка розгортання вже повністю досліджена
    closedlist.add(currentNode)
until openlist.isEmpty()
// список відомих точок порожній, розв'язків немає
return NoPathFound
end
// перевіряє суміжні точки та додає до списку сприятливі точки, якщо:
// – суміжні сприятливі точки для проходження
// – знайдений кращий шлях до цієї точки
function expandNode(currentNode)
    foreach successor of currentNode
        // пропустити, якщо точка вже є у списку досліджених
        if closedlist.contains(successor) then
            continue
        // обчислити значення g нового шляху:
        // значення g попередньої точки + шлях коротший
        tentative_g = g(currentNode) + c(currentNode, successor)
        // якщо суміжна точка вже є у списку відомих,
        // але знайдений шлях не кращий за вже відомий – пропустити
        if openlist.contains(successor) and tentative_g >= g[successor] then
            continue
        // встановити вказівник на попередню точку та зберегти g
        successor.predecessor := currentNode
        g[successor] = tentative_g
        // оновити значення f точки у списку відомих точок
        // або додати точку до списку відомих точок
        f := tentative_g + h(successor)
        if openlist.contains(successor) then

```

```

    openlist.decreaseKey(successor, f)
  else
    openlist.enqueue(successor, f)
  end
end
end

```

Опис алгоритму для пошуку найкоротшого та найоптимальнішого маршруту за наявності сприятливих та несприятливих точок.

Алгоритм ураховує сприятливі та несприятливі точки, а також резервні шляхи, що підвищує надійність і ефективність пошуку точки розгортання.

Основною метою є швидке та точне визначення шляху від початкової точки до точки розгортання, мінімізуючи сумарну довжину й ураховуючи можливі зміни умов руху засобів повітряного нападу.

Алгоритм базується на поширеній методиці Алгоритму А*, доповненому площами навколо об'єкта критичної інфраструктури, з метою недопущення засобів повітряного нападу на критичну відстань до об'єкта, беручи до уваги сприятливі точки та перехід з одного квадрата в інший. У разі зміни напрямку руху засобів повітряного нападу програма прораховує нову точку розгортання і в реальному часі змінює маршрут.

Openlist – список сприятливих точок, куди додаються потенційні шляхи для дослідження.

Closedlist – список already досліджених точок, щоб уникнути повторного аналізу.

Startpoint – початкова точка маршруту.

Target – цільова точка маршруту.

Backup point – запасна точка для резервних маршрутів.

Ініціалізація – стартова точка додається до openlist з початковим значенням f.

Оброблення найліпшого вузла – на кожній ітерації вибираються та вилучаються точки з openlist з несприятливими точками. Вони переносяться до closedlist.

Перехід у сприятливі точки та резервні маршрути – якщо поточна точка є сприятливою, здійснюється перехід у відповідний сектор. Аналогічно, якщо досягнута резервна точка, то шлях вважається знайденим.

Розгляд сусідів – для кожного сусіда:

Якщо він уже досліджений, то пропускається.

Обчислюється tentative g, і якщо шлях коротший, – оновлюються дані.

Нові точки додаються та оновлюються у openlist.

Завершення пошуку – процес повторюється, доки не буде знайдено шлях або всі можливі варіанти опрацьовано. Якщо ціль або резервний шлях досягнуто – маршрут закінчується і пошук завершується.

Алгоритм дає змогу гнучко й ефективно будувати найоптимальніший маршрут, ураховуючи особливості перехідних точок і резервних шляхів. Застосування алгоритму особливо актуальне для мобільних вогневих груп у складних середовищах, де умови можуть змінюватися і потрібно швидко адаптувати маршрут.

Приклад наведено на рис. 3, на якому розглянуто початок руху мобільної вогневої групи у напрямку засобу повітряного нападу і визначено, що рух МВГ починається з точки 7, де

для квадрата (В4):

– несприятливі для проходження точки 2,3,4,5,6,9;

– сприятливі для проходження точки 1,7,8;

для квадрата (В3):

– несприятливі для проходження точки 1,2,3,5,6,8;

– сприятливі для проходження точки 4,7,9;

для квадрата (С3):

– несприятливі для проходження точки 1,2,3,5,7;

– сприятливі для проходження точки 4,8,9.

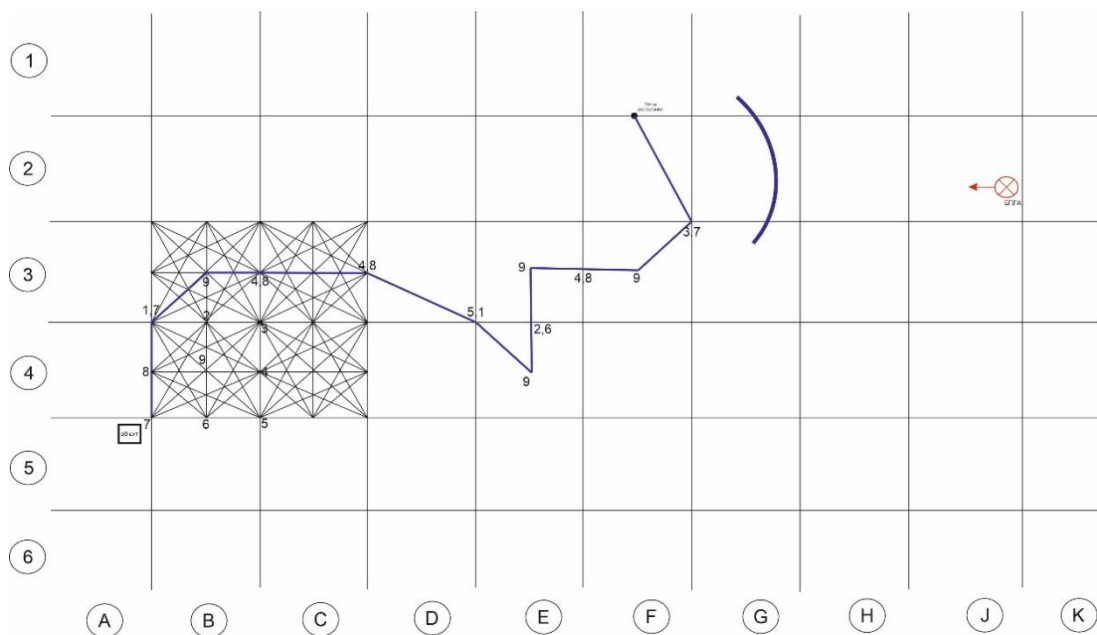


Рисунок 3 – Розроблений варіант руху мобільної вогневої групи

Алгоритм показує найшвидший можливий шлях руху для МВГ. Зображення містить структуру з великою кількістю перехрещувань і ліній, що інтерпретуються як з'єднання між вершинами, які проходить МВГ. Алгоритм показує напрямки переходу між станами з урахуванням умов або правил, що визначають подальший хід процесу. Складна мережа з перехрестями вказує на оброблення складних маршрутів, що враховує різні ситуації. Схему можна застосувати в автоматичних системах, обчислювальних алгоритмах, системах штучного інтелекту для оптимізації процесів.

Розглянемо зазначений алгоритм на робочій карті командира МВГ з урахуванням Алгоритму A^{**} (рис. 4).



Рисунок 4 – Варіант руху мобільної вогневої групи відповідно до Алгоритму A^{**}

На карті показано планові дії та маршрути МВГ з урахуванням Алгоритму A^{**} , що допомагає командирі приймати рішення, беручи до уваги безпеку, ефективність та швидкість виконання завдання.

Модель організації висування і зайняття вогневих позицій МВГ для виконання завдань із захисту об'єктів критичної інфраструктури від засобів повітряного нападу зображено на рис. 5 (коректніше говорити вже не про організацію, а про виконання).

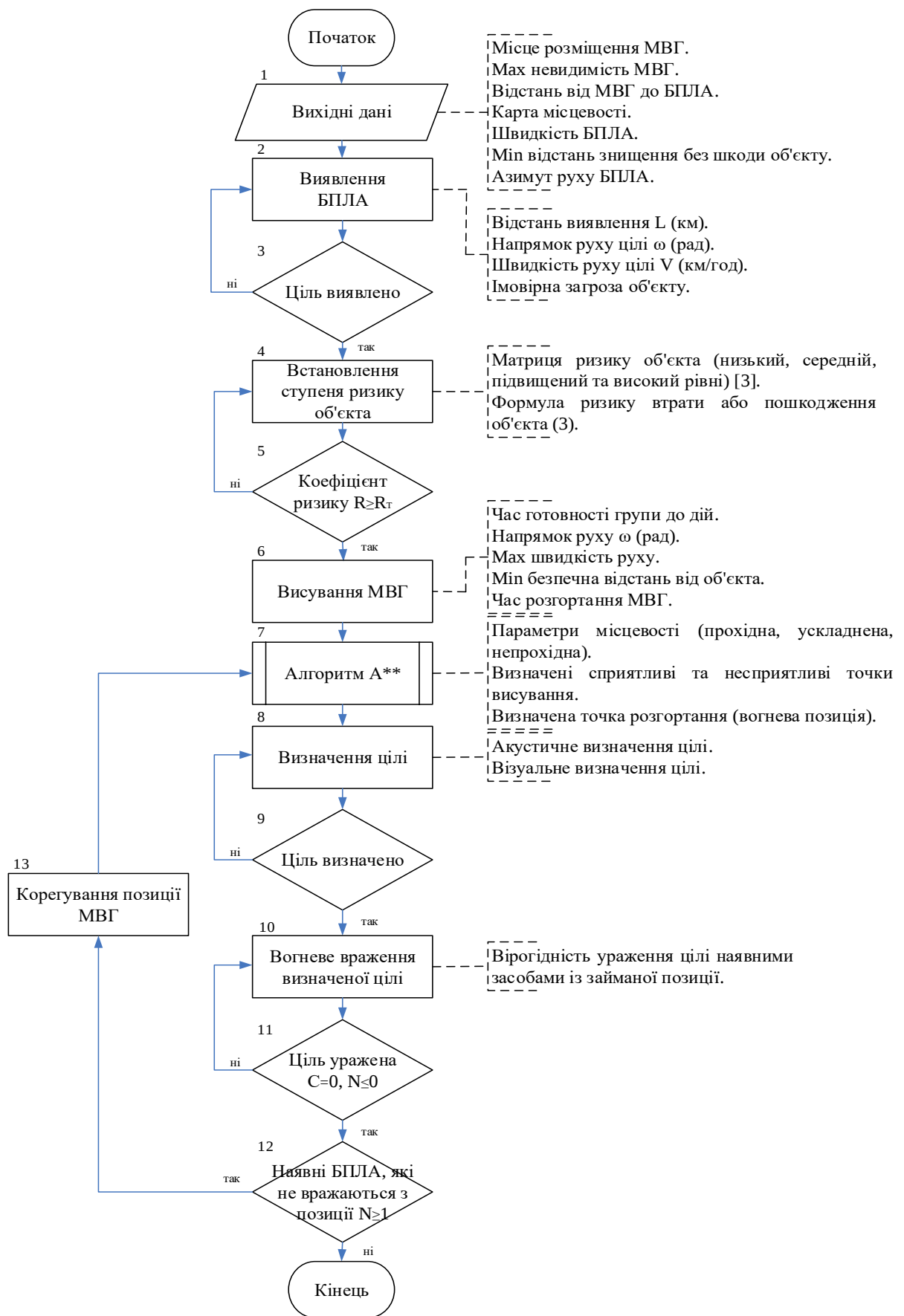


Рисунок 5 – Модель організації висування та зайняття вогневих позицій мобільними вогневими групами для виконання завдань із захисту об'єктів критичної інфраструктури від засобів повітряного нападу відповідно зазначених параметрів

У блоці 1 (рис. 5) здійснюється уведення вхідних даних для розрахунку виконання завдань МВГ щодо захисту об'єкта критичної інфраструктури: просторові дані об'єкта критичної інфраструктури (різний рельєф навколо об'єктів, висота над рівнем моря, відстань об'єкта від населеного пункту, прихованість об'єкта, ступінь важливості), також дані МВГ з визначенням її розміщення (всередині або на віддаленні від об'єкта) на відстань, визначену командиром, з використанням невидимості та встановленням безпечного радіуса від об'єкта критичної інфраструктури.

У блоці 2 визначаємо відстань виявлення БПЛА в кілометрах, потенційний напрямок руху БПЛА в радіанах, швидкість руху БПЛА в кілометрах за годину та ймовірність загрози об'єкту критичної інфраструктури. Якщо всі показники встановлені, то здійснюємо перехід до блоку 3.

У блоці 3, якщо ціль не виявлено, то повертаємося до блоку 2 та здійснюємо корегування даних і визначаємо повторно відстань, швидкість, напрямок БПЛА та ймовірну загрозу об'єкту. Якщо виявлено ціль, яка становить загрозу об'єкту критичної інфраструктури, то подається сигнал МВГ на висування (блок 4).

У блоці 4 встановлюємо ступінь ризику об'єкта, визначаємо матрицю ризику об'єкта (низький, середній, підвищений та високий рівні), яка відображена на рис. 6. Якщо коефіцієнт ризику $R \geq R_T$ (блок 5) не виконано, тобто коефіцієнт ризику не перевищуватиме або дорівнюватиме ризику від втрати та ушкодження об'єктів критичної інфраструктури протягом року, то повертаємося до блоку 4. У разі виконання умов блоку 5 переходимо до блоку 6.

У блоці 6 визначаємо час готовності МВГ до дій, вказуємо напрямок руху до місця розгортання та час, за який група повинна розгорнутися. Під час здійснення МВГ висування визначаємо максимальну швидкість руху з урахуванням усіх ділянок місцевості. Командиру МВГ вказуємо мінімальну безпечну відстань від об'єкта критичної інфраструктури з метою недопущення засобів повітряного нападу на зазначену відстань. Використовуючи Алгоритм А** (блок 7), визначаємо найкоротший маршрут руху по точках висування з можливістю усунення несприятливих для проходження точок, якщо точка розгортання (вогнева позиція) буде визначена переходом до блоку 8.

У блоці 8 здійснюємо візуальне та акустичне визначення цілі.

Якщо у блоці 9 ціль не визначено, тоді здійснюємо подальше спостереження цілі (блок 8) та робимо повторну спробу визначити ціль. Якщо ціль визначено, то переходимо до блоку 10.

У блоці 10 здійснюємо вогневе ураження визначеної цілі, урахувавши вірогідність ураження цілі наявними засобами. Якщо ціль не вражена (блок 11), повертаємося до блоку 10 та проводимо повторне ураження визначеної цілі. У разі, якщо ціль уражена (блок 11) і не з'явилося біля займаної позиції додаткових засобів повітряного нападу, переходимо до блоку 12.

У блоці 12 за наявності інших БПЛА, які знаходяться на відстані, що не дає змоги здійснити ураження із займаної позиції, робимо перехід до блоку 7 та проводимо корегування позиції МВГ із розгортанням на новій позиції. Якщо інших БПЛА немає у районі оборони об'єкта критичної інфраструктури, то завдання виконано і МВГ повертається до свого початкового місця розташування.

Кожний об'єкт критичної інфраструктури піддається ризикам. У загальному випадку оцінка ризику містить кілька етапів:

- ідентифікація ризиків як процес їхнього розпізнавання та опису;
- аналіз ризику, що передбачає осмислення природи ризику та визначення його рівня;
- оцінювання ризику, що передбачає порівняння результатів аналізу ризиків з критеріями для визначення, чи є ризик прийнятним або допустимим [3].

Якщо вирішується завдання запобігання і готовності до загрози певного типу, ризик може бути кількісно визначений як функція імовірності виникнення загрози, експозиції (загальна вартість усіх елементів, що перебувають під впливом ризику) та уразливості (конкретний вплив на експозицію).

Оцінка ризику передбачає перелік кроків, які дають можливість урахувати вплив основних чинників небезпеки.

У науковій статті з урахуванням національного і міжнародного досвіду наведено оцінку ризику R , яка може використовуватися функціонал F , що пов'язує імовірність P виникнення несприятливої події і математичне очікування збитку L від неї [3]:

$$R = F_R \{L, P\} = \sum_i [F_{R_i} (L_i, P_i)] = \int C(L)P(L)dL = \int C(P)L(P)dP, \quad (2)$$

де i – види несприятливих подій;

C – вагові функції, що враховують взаємовплив ризиків;

L – математичне очікування збитку;

P – імовірність виникнення несприятливої події.

У країнах ЄС з метою проведення національної оцінки ризику (National Risk Assessment) для критичної інфраструктури рекомендується використовувати матрицю ризику розмірністю 5 x 5 як засіб для візуалізації результатів оцінки (рис. 6) [3].

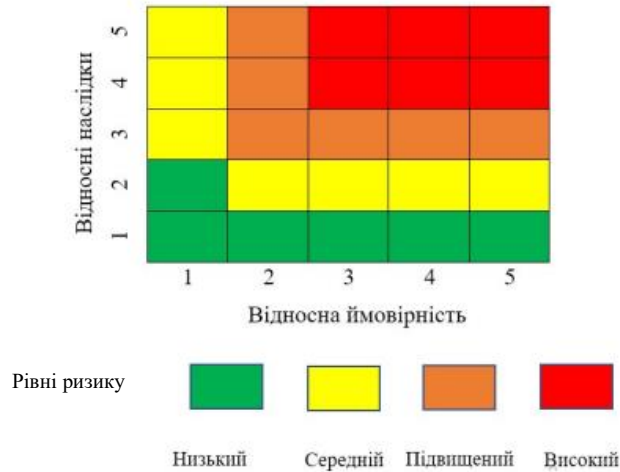


Рисунок 6 – Матриця ризиків

Ризик від втрати та ушкодження об'єктів інфраструктури протягом року [3] визначається за формулою

$$R_T = \sum_{i=t}^n P_{Ti} (V_{T1i} \times L_{T1i} \times N_{T1i} + V_{T2i} \times L_{T2i} \times N_{T2i}) = \sum_{i=t}^n P_{Ti} \left(\frac{N_{T1i}}{N_{Ti}} \times L_{T1i} \times N_{T1i} + \frac{N_{T2i}}{N_{Ti}} \times L_{T2i} \times N_{T2i} \right), \quad (3)$$

де P_{Ti} – імовірність реалізації i -го інциденту зі збитками для об'єктів інфраструктури заданого регіону;

V_{T1i} – уразливість об'єктів інфраструктури до руйнування від i -го інциденту;

V_{T2i} – уразливість об'єктів інфраструктури до ушкодження від i -го інциденту;

N_{T1i} – кількість зруйнованих об'єктів інфраструктури за i -го інциденту;

N_{T2i} – кількість ушкоджених об'єктів інфраструктури в результаті i -го інциденту;

N_{Ti} – загальна кількість об'єктів інфраструктури в певному регіоні;

L_{T2i} – збитки від ушкодження об'єктів інфраструктури в результаті i -го інциденту.

Висновки

Розроблена модель організації висування та зайняття вогневих позицій мобільними групами дає можливість підвищити оперативність реагування, оптимізувати використання ресурсів і забезпечити швидке реагування на змінну бойову обстановку. Водночас упровадження автоматизованих систем управління, удосконалення тактичних аспектів є важливим складником для підвищення ефективності й надійності цієї системи.

Загалом створення і впровадження такої моделі сприятиме підвищенню рівня захисту об'єктів критичної інфраструктури й забезпечить стійкість систем оборони у сучасних умовах бойової діяльності.

Подальші наукові дослідження повинні бути спрямовані на вдосконалення технологічних рішень, автоматизацію процесів та інтеграцію сучасних систем управління для максимальної оперативної адаптації мобільних вогневих груп до динамічної зміни бойової ситуації.

Перелік джерел посилання

1. Командування військ протиповітряної оборони України. Програма індивідуальної та колективної підготовки мобільних вогневих груп, які залучаються до виконання завдань з ППО. URL: <https://surli.cc/kjacif> (дата звернення: 19.06.2025).
2. Бахчеван Є., Бахчеван О. Особливості роботи мобільних вогневих груп по боротьбі з ударними безпілотними літальними апаратами – організація роботи цілевказівного комплексу «GTPN 1». URL: <https://surli.lu/iwdgrv> (дата звернення: 19.06.2025).
3. Іванюта С. П., Панов Є. М., Іваненко О. І., Гапон С. В. Оцінка ризиків критичній інфраструктурі України в умовах російської військової агресії. *Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*. URL: <https://surli.li/zbgsszy> (дата звернення: 19.06.2025).
4. INFORESIST. Мобільні вогневі групи у діяльності Сил ТрО. URL: <https://surli.lu/gcznnm> (дата звернення: 19.06.2025).
5. ARMYINFORM. Сучасні методи підготовки: як мобільні вогневі групи готуються до реальних бойових викликів. URL: <https://surli.li/njzhcq> (дата звернення: 19.06.2025).
6. Командування сухопутних військ збройних сил України. Методичні рекомендації підрозділам щодо боротьби з безпілотними літальними апаратами іранського виробництва «камікадзе», «shahed-136» («герань-2»). URL: <https://surli.li/uxwvmx> (дата звернення: 19.06.2025).
7. Алгоритм пошуку А*. URL: <https://surli.li/odtva0> (дата звернення: 30.06.2025).
8. Лапчук Д. І., Щетинський І. М., Тайбасаров О. В. Економічний ефект застосування мобільних вогневих груп для знищення засобів повітряного нападу. *Національні інтереси України*. 2025. № 5 (10) С. 290–302.

Стаття надійшла до редакції 10.07.2025 р.

UDC 355.3

D. Lapchuk, O. Onopriienko

MODEL OF CREATION OF BATTLE ORDER FOR PERFORMING TASKS ON PROTECTION OF CRITICAL INFRASTRUCTURE FACILITIES FROM AIR ATTACK MEANS

In the current conditions of dynamic development of military technologies, growth of potential of air attack means and their tactical and technical complexity, the issue of protection of critical infrastructure objects is becoming particularly urgent from scientific and strategic points of view. Critical infrastructure objects perform functions of ensuring the vital activity, defense capability of the state and are priority targets for means of armed attack. Their vulnerability during modern conflicts determines the need to develop new approaches to organizing the defense system, in particular the effective use of mobile fire groups.

The scientific approach to forming a defense system is based on the study of the dynamics of combat operations, analysis of tactical and technical characteristics of air attack means, as well as the development of models of operational actions and logistics. Studying the process of advancing and occupying firing positions by mobile groups are important aspects in increasing the speed of reaction and effectiveness of countering air attack means. The creation of a universal, adaptive and automated system for organizing these processes, which takes into account modern requirements for mobility, rapid action and accuracy in the context of the high dynamics of the combat situation, is of particular relevance.

The development of a model for organizing the advancement and occupation of firing positions by mobile fire groups allows not only to increase the level of operational readiness, but also to optimize resources, increase the efficiency of the use of regular means and relevant control systems. This contributes to the formation of a system of preventive and operational measures that are able to

withstand modern means of air attack and minimize possible losses of strategic critical infrastructure facilities.

Within the framework of this study, the task is set to analyze and model organizational structures, processes and methods of using mobile fire groups to protect critical infrastructure facilities, which will allow to increase the scientific justification and quality of management of defensive measures, ensure their compliance with modern challenges in the field of military security, and also increase the level of readiness for rapid response in conditions of high intensity of combat operations.

Keywords: *National Guard of Ukraine, air attack assets, critical infrastructure facilities, mobile fire group, firing positions.*

Лапчук Дмитро Ігорович – старший викладач кафедри забезпечення державної безпеки, Національна академія Національної гвардії України
<https://orcid.org/0009-0006-3288-9635>

Онопрієнко Олександр Сергійович – доктор філософії, доцент, заступник начальника кафедри, Національна академія Національної гвардії України
<https://orcid.org/0000-0001-7935-4570>