

Юрій Євгенович Репіло (доктор військових наук, професор)

Олексій Валерійович Іщенко

Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна

## МОДЕЛЬ ЗАСТОСУВАННЯ БЕЗПІЛОТНИХ АВІАЦІЙНИХ КОМПЛЕКСІВ В ІНТЕРЕСАХ ВИКОНАННЯ ВОГНЕВИХ ЗАВДАНЬ АРТИЛЕРІЄЮ В ЗБРОЙНИХ КОНФЛІКТАХ

З метою забезпечення можливості оцінювання ефективності застосування безпілотних авіаційних комплексів в інтересах виконання вогневих завдань артилерією в збройних конфліктах, запропоновано модель застосування безпілотних авіаційних комплексів в інтересах виконання вогневих завдань артилерією в збройних конфліктах через відповідність можливостей безпілотних авіаційних комплексів щодо повітряної розвідки з урахуванням параметрів польоту безпілотного літального апарату та характеристик об'єктів розвідки.

Метою статті є розробка моделі застосування безпілотних авіаційних комплексів в інтересах виконання вогневих завдань артилерією в збройних конфліктах. Метою процесу вибору раціонального варіанта ведення повітряної розвідки безпілотними авіаційними комплексами об'єктів, як можливих цілей для артилерії є прийняття рішення про вибір варіанта розвідувальної апаратури та тактичного прийому польоту безпілотного літального апарату з визначеними параметрами їх застосування, які б задовольняли вимогам до виконання вогневих завдань артилерією.

У статті запропонована модель застосування безпілотних авіаційних комплексів в інтересах виконання вогневих завдань артилерією в збройних конфліктах, дає змогу отримати чисельні значення параметрів роботи розвідувальної апаратури та параметрів польоту, відповідно вимог до виконання вогневих завдань артилерією. Отримані значення пропонується вважати, як основу подальшого обґрунтування рекомендацій відповідним органам управління щодо ефективного застосування безпілотних авіаційних комплексів в інтересах виконання вогневих завдань артилерією в збройних конфліктах.

**Ключові слова:** повітряна розвідка, безпілотні авіаційні комплекси, артилерія.

### Вступ

Аналіз [1–5] останніх збройних конфліктів і здобуті уроки застосування підрозділів артилерії в антитерористичній операції на території Донецької та Луганської областей, операції Об'єднаних сил (з 2014 по 2022 роки) та відбиття широкомасштабної збройної агресії російської федерації проти України (24 лютого 2022 року – по т.ч.) показав, що одними з основних технічних засобів розвідки, які забезпечують підрозділи артилерії розвіданими про об'єкти (цілі) ураження, ведення повітряної розвідки (ПвР) в режимі реального часу, цілевказівок, корегування вогню артилерії стали сучасні безпілотні авіаційні комплекси (БпАК). Зростаюча роль БпАК в сучасних збройних конфліктах зумовила перегляд концепцій та програм розвитку цього виду озброєння для сухопутних військ в арміях більшості країн регіону і світу, а також у Збройних Силах України [6–8].

Аналіз [9] застосування БпАК в інтересах виконання вогневих завдань артилерією, свідчить про їх перевагу, за кількістю виявлених об'єктів (цілей), у порівнянні з іншими засобами розвідки. Результатом застосування БпАК стали точні

вогневі та своєчасні вогневі нальоти артилерії, що розпочиналися через 3...5 хвилин після виявлення безпілотним літальним апаратом (БпЛА) об'єктів (цілей) противника.

**Постановка проблеми.** Уроки, отримані за результатами збройних конфліктів початку 21-го століття, а особливо широкомасштабної збройної агресії російської федерації проти України [1, 2, 3] підтверджують значення ПвР БпАК як в цілому для військ, так і безпосередньо для виконання вогневих завдань (ВгЗ) артилерією. При цьому, практика використання результатів такої розвідки артилерією свідчить про те, що її ефективність за багатьма параметрами (просторовими, часовими та процедурними) не відповідає встановленим вимогам [10]. Тобто такий стан призводить до виникнення невідповідності у практиці військового управління між зростаючими просторовими, часовими та процедурними вимогами до виконання ВгЗ з одного боку та можливостями БпАК щодо виконання їх за результатами ПвР з іншого. При цьому, отримання потрібної вибірки фактів для визначення певних закономірностей поточкових процесів в реальних

збройних конфліктах як у цілому застосування БпАК так і, особливо, безпосередньо в інтересах виконання ВгЗ артилерією викликає певні проблеми. Можливим шляхом рішення таких проблем стає моделювання відповідних процесів. [11–15].

Одним із ключових методів вирішення суперечностей, що потребують досліджень у теорії управління в цілому та військового управління зокрема, є математичне моделювання [11-15].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У [15–22] висвітлюється питання вибору раціональних варіантів ведення ПвР БпАК об'єктів, як можливих цілей для артилерії, виявив недостатність інформації про результати вирішення цього завдання для виконання завдань ПвР БпАК об'єктів противника і особливо безпілотною авіацією, одного з перспективних засобів розвідки, який останнім часом починає набувати особливо широкого розвитку. Так, у [16, 17] розглядаються тільки окремі питання застосування розвідувальної апаратури БпЛА без урахування можливості її комплексного застосування для вирішення завдань ПвР об'єктів, як можливих цілей для артилерії та параметрів його польоту. Не повністю враховуються характеристики об'єктів розвідки. У [17] не враховуються параметри польоту розвідувального ЛА, що є важливим чинником у підвищенні ефективності ПвР. Інформація з іноземних джерел має тільки оглядовий характер і не дає можливості зробити об'єктивний аналіз у цій області досліджень.

**Мета статті** є розробка моделі застосування БпАК в інтересах виконання ВгЗ артилерією в збройних конфліктах. Метою процесу вибору раціонального варіанта ведення ПвР БпАК об'єктів, як можливих цілей для артилерії є прийняття рішення про вибір варіанта розвідувальної апаратури та тактичного прийому польоту БпЛА з визначеними параметрами їх застосування, які б задовольняли вимогам до виконання вогневих завдань артилерією.

### **Виклад основного матеріалу дослідження**

Відомо [19–21], що коректна побудова моделі досліджуваної задачі – основна умова успішної розробки проекту. Невірно побудована модель може призвести до помилкових висновків і виявитися неекономічною під час експлуатації. Правильно розроблена модель, може істотно поліпшити ефективність функціонування системи “БпАК - підрозділ артилерії”. Розробка моделі для аналізу досліджуваного виду діяльності вимагає творчого підходу. Крім того, щоб правильно зрозуміти сутність досліджуваної проблеми, необхідно зібрати і ретельно проаналізувати великий обсяг даних. Практичне значення модель здобуває за умови, що її вивчення наявними засобами доступніше, чим вивчення самого об'єкта. З усього сказаного впливають такі

вимоги до моделі: адекватність (відповідність моделі своєму оригіналу); простота (відсутність другорядних факторів); об'єктивність (відповідність наукових висновків реальним умовам); чутливість (здатність моделі реагувати на зміну параметрів); стійкість (малому збурюванню вихідних параметрів повинно відповідати мала зміна рішення задачі (моделі)); універсальність (широка області застосування).

Підрозділами БпАК артилерії здійснюється (ПвР) способами візуального спостереження, фотографування та застосування радіоелектронних засобів із завданнями щодо розвідки (дорозвідки) об'єктів, як можливих цілей для артилерії, місцевості й обслуговування стрільби артилерії. У цих умовах результати бойового застосування БпАК в інтересах виконання вогневих завдань артилерією будуть залежати від того, наскільки раціонально застосовуються сили, засоби та способи розвідки. У зв'язку з цим, потрібне раціональне застосування усіх складових варіанта ведення ПвР у відповідності до конкретної обстановки, а саме: варіанта складу розвідувальної апаратури, тактичного прийому ПвР та способу подолання ППО противника. Раціональний варіант ведення ПвР БпАК об'єктів, як можливих цілей для артилерії, значно підвищує повноту та достовірність розвідувальної інформації. Однак це можливо тільки у випадку застосування розвідувального обладнання літального апарату (ЛА) з найвигіднішими параметрами і його роботи та вибору найвигідніших параметрів польоту ЛА відповідно до поставленого завдання (характеристик об'єктів розвідки).

Виходячи з цього, побудову моделі застосування БпАК в інтересах виконання ВгЗ артилерією в збройних конфліктах пропонується здійснити з врахуванням цих вимог.

Для наглядності блок-схема запропонованої моделі ведення ПвР БпАК в інтересах виконання ВгЗ артилерії в збройних конфліктах наведена на рис. 1.

**Блок 1. Введення вхідних даних.** Вхідними даними для побудови означеної моделі вважається за доцільне прийняти такі: параметри оперативно-тактичної обстановки; умови ведення ПвР; завдання ПвР; об'єкти розвідки, що в них входять; параметри розвідувальної апаратури; параметри польоту БпЛА.

**Блок 2. Оцінювання оперативно-тактичної обстановки.** Початковим етапом процесу вибору раціонального варіанта ведення ПвР БпАК об'єктів, як можливих цілей для артилерії противника є глибокий аналіз оперативно-тактичної обстановки, що складалася; виявлення чинників, які сприятимуть або ускладнюватимуть виконання завдання; визначення та підготовка вхідних даних для проведення необхідних розрахунків [4, 5].

**Блок 3. Визначення умов ведення ПвР.** При виборі раціонального варіанта вирішення завдань ПвР БпАК об'єктів, як можливих цілей для

артилерії доречним є визначення умов ведення ПвР, таких як: фізико-географічні умови, рельєф місцевості, пора року, час доби, метеорологічні умови. Будь-який з цих елементів впливає на ефективність ведення ПвР та на якість отриманих розвідувальних матеріалів. Об'єкт, як можлива ціль для артилерії – це об'єкт інфраструктури, сили та засоби противника, знищення (подавлення, руйнування) яких можливе шляхом виконання ВгЗ артилерією. Об'єкти, як можливі цілі для артилерії визначаються на наступних рівнях: стратегічному, оперативному, тактичному.

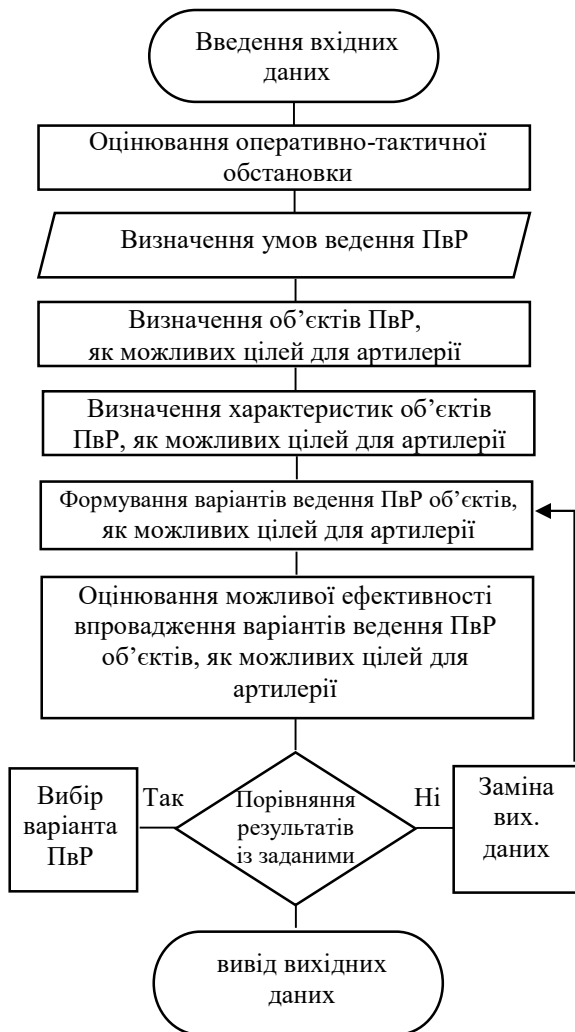


Рис. 1. Блок-схема моделі застосування БпАК в інтересах виконання ВгЗ артилерією в збройних конфліктах

**Блок 4. Визначення об'єктів ПвР, як можливих цілей для артилерії** виконують у залежності від поставлених завдань командування. Наявність об'єктів, як можливих цілей для артилерії визначається при проведенні попередньої ПвР під час підготовки до ведення бойових дій. Інформація про наявність об'єктів, як можливих цілей для артилерії, можливо надходити і від інших видів воєнної розвідки. Одними із джерел такої інформації можуть бути космічна

розвідка; або ПвР за допомогою пілотованих ЛА, яка була виконана з великих висот, з метою забезпечення високої ймовірності неураження ЛА засобами ППО противника. Розвідувальні матеріали, які отримані цими засобами, можуть мати високу інформативність і давати можливість дешифрувати об'єкти, як можливі цілі для артилерії з високою ймовірністю.

**Блок 5. Визначення характеристик об'єктів ПвР, як можливих цілей для артилерії.** З метою полегшення планування, здійснення розрахунків на використання засобів ПвР, постановки завдань, збирання, обробки та подання розвідувальних даних у стислі строки пропонується уточнити класифікацію об'єктів ПвР, безпосередньо як можливих цілей для артилерії.

Основними характеристиками об'єктів, як можливих цілей для артилерії, які необхідно знати для вибору ефективного варіанта ведення їх ПвР, є: геометричні розміри (довжина, висота, ширина), м; форма об'єкта розвідки; матеріал, з якого виготовлений об'єкт розвідки; особливості функціонування об'єкта; склад і типова схема розміщення елементів об'єкта на місцевості та в бойових порядках противника.

**Блок 6. Формування варіантів ведення ПвР об'єктів, як можливих цілей для артилерії.** Доречно вважати, що зміст таких варіантів залежить від поставленого завдання і всіх попередніх етапів процесу вибору раціонального варіанта ведення ПвР. На цьому етапі, з урахуванням вищевказаних чинників обираються технічні засоби ПвР, які найбільшим чином відповідають характеру поставленого завдання (характеристикам об'єктів):

встановлюються необхідні параметри роботи розвідувального обладнання у відповідності до характеристик об'єктів розвідки;

визначаються тактичні прийоми виконання ПвР в залежності від дальності польоту до об'єктів, характеристик об'єктів, характеристик району, ТТХ БпЛА, можливостей розвідувального обладнання; ступеня протидії засобів ППО противника. Напрямок заходу на об'єкт розвідки, обирається з урахуванням забезпечення найбільш ефективного подолання ППО противника та з метою виходу на об'єкт під різними ракурсами для підвищення інформативності розвідувальних зображень;

визначаються параметри польоту на кожному етапі розвідки й робиться інженерно-штурманський розрахунок польоту БпЛА на виконання завдань ПвР об'єктів, як можливих цілей для артилерії;

визначаються способи бойових дій БпЛА в залежності від змісту та термінів виконання поставленого бойового завдання та умов обстановки.

У процесі виконання розрахунків щодо вибору раціонального варіанта ПвР БпАК об'єктів, як можливих цілей для артилерії, використовуються відомі технічні характеристики розвідувального

обладнання; тактико-технічні характеристики БпЛА; відомі характеристики об'єктів, що наведені в спеціальних настановах та керівництвах. Вихідні дані, які необхідні для формування раціонального варіанта ведення ПвР БпЛА об'єктів, як можливих цілей для артилерії за запропонованою моделлю доцільно готувати завчасно, з метою скорочення часу на проведення розрахунків. Для успішного виконання завдання формування ефективного варіанта ПвР доцільно створити відповідні бази даних щодо характеристик об'єктів розвідки за типами, технічних характеристик засобів ППО противника.

**Блок 7. Оцінювання можливої ефективності впровадження варіантів ведення ПвР об'єктів, як можливих цілей для артилерії.** Оцінювання можливої ефективності пропонується виконувати за авторською методикою оцінювання відповідності можливостей БпЛА щодо ПвР в інтересах виконання вогневих завдань артилерії, яка розроблена на основі теорії розпізнання образів та теорії нечітких множин і відрізняється від існуючих [16] урахуванням параметрів польоту БпЛА відповідно до характеристик об'єктів розвідки та ступеня їх маскування.

Оскільки ПвР можна розглядати як складну систему, таке оцінювання пропонується досліджувати з позиції системного підходу. При цьому завдання ПвР, об'єкти розвідки, що в них входять, їх характеристики (інформативні ознаки) з одного боку та розвідувальна апаратура, прилади, що в неї входять та параметри приладів й параметри польоту з іншого, можливо вважати підсистемами, які знаходяться на різних ієрархічних рівнях даної складної системи. Як узагальнений критерій пропонується використовувати "функцію належності", яка визначає ступінь належності елемента до нечіткої множини й змінюється від 0 до 1. Множиною часткових критеріїв будуть являться "функції відповідності" - оцінки відповідності параметрів розвідувальної апаратури та параметрів польоту характеристикам об'єктів, як можливих цілей для артилерії.

Введемо  $\Omega = (\Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_i, \dots, \Omega_q)$  – множина всіх завдань ПвР критично важливих об'єктів,  $\Omega_i$ , кожне з яких містить набір різних об'єктів розвідки.  $\Omega_i = \{\psi_{i1}, \psi_{i2}, \dots, \psi_{i i \dots}, \psi_{i ki}\}$  – множина об'єктів розвідки в інтересах  $i$ -го вогневого завдання, де  $k_i$  - кількість об'єктів  $i$ -го вогневого завдання. Для розвідки об'єктів, як можливих цілей для артилерії необхідно виміряти їх характеристики.

Для позначення характеристик об'єктів пропонується ввести нумерацію по всіх завданнях ПвР та об'єктам від 1 до  $m$ . Тоді  $\mathcal{E} = \{\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_j, \dots, \varepsilon_m\}$  – множина характеристик об'єктів, вимірювання яких

необхідне для рішення всіх завдань ПвР об'єктів, як можливих цілей для артилерії.

Для ПвР  $l$ -го об'єкта  $i$ -го завдання пропонується виміряти  $m_{il}$  характеристик об'єктів ( $m_{il} < m$ ), які позначимо як множину

$$\mathcal{E}_{il} = \{\varepsilon_{il1}, \varepsilon_{il2}, \dots, \varepsilon_{ilj}, \dots, \varepsilon_{ilm}\}, \varepsilon_{il} \in \mathcal{E}.$$

Для множини варіантів розвідувальної апаратури та способів ведення ПвР об'єктів, як можливих цілей для артилерії введемо позначення  $T = \{T_1, T_2, \dots, T_c, \dots, T_r\}$ , де  $T_c$  –  $c$ -ий варіант розвідувальної апаратури та способу ведення ПвР. Для параметрів приладів та параметрів польоту БпЛА введемо нумерацію, яка відповідає нумерації характеристик об'єктів від 1 до  $n$ , множина яких запишеться як:  $t = \{t_1, t_2, \dots, t_j, \dots, t_n\}$ . Тоді варіант розвідувальної апаратури та спосіб ведення ПвР об'єктів, як можливі цілі для артилерії  $T_c$

характеризується  $n_c$  параметрами, множина яких має вигляд:

$$t_c = \{t_{c1}, t_{c2}, \dots, t_{cj}, \dots, t_{cn(c)}\}, t_{cj} \in t.$$

Необхідно оцінити ефективність різних варіантів розвідувальної апаратури та тактичних прийомів ведення ПвР для вирішення всіх завдань ПвР та обрати зі всієї множини  $T$  найефективніший варіант.

Для формалізації та рішення даного наукового завдання, пропонується використати методологію, яка застосовується в задачах класифікації дискретних об'єктів, теорії розпізнання образів та теорії нечітких множин [17,18]. При цьому необхідно встановити наскільки схожий об'єкт розпізнавання, в нашому випадку - це варіант розвідувальної апаратури та тактичний прийом ведення ПвР об'єктів, як можливих цілей для артилерії, з іншими об'єктами (класами), які представлені окремими об'єктами та цілими завданнями на ПвР, тобто будемо вирішувати задачу класифікації об'єкта (варіанта)  $T_c$  на множині класів

$$\Omega_i \forall i \in 1, q \text{ та } \psi_{il}, \forall i \in 1, q; \forall l \in 1, k_i; \forall c \in 1, r,$$

тобто на множині всіх об'єктів у кожному завданні, яке спрямоване на ПвР об'єктів, як можливих цілей для артилерії.

Для рішення таких задач використовуються алгоритми, які засновані на обчисленні оцінок, які складаються з таких етапів: введення функції близькості (нев'язки) величин, що порівнюються, обчислення оцінки для функції близькості – функції відповідності, обчислення оцінок для класу по множині характеристик об'єктів, обчислення оцінок для класу по опорній множині.

Вирішальне правило повинно встановити порогові значення оцінок, за якими можна із множини варіантів розвідувальної апаратури та тактичних прийомів ведення ПвР обрати такий, який має найбільше значення функції належності для того, щоб вирішити завдання та повністю виконати ПвР.

Для цього визначимо близькість для  $j$ -го параметра  $c$ -го варіанта розвідувальної апаратури та способу польоту на ПвР ( $\forall c \in 1, r$ ) до  $j$ -ої характеристики  $i$ -го об'єкта  $i$ -го завдання за допомогою функції близькості у відповідності з виразами (1-4): для параметрів, значення яких максимізується, тобто чим більше значення параметра, тим більша ймовірність вирішення завдання ПвР об'єктів, як можливих цілей для артилерії (1):

$$s(\varepsilon_{ilj}, t_{cj}) = \begin{cases} \frac{\varepsilon_{ilj} - t_{cj}}{\varepsilon_{ilj}}, & \varepsilon_{ilj} \geq t_{cj} \\ 0, & \varepsilon_{ilj} \leq t_{cj} \end{cases} \quad (1)$$

для параметрів, значення яких мінімізується, тобто чим менше значення параметра, тим більша ймовірність вирішення завдання вирішення завдання ПвР об'єктів, як можливих цілей для артилерії (2):

$$s(\varepsilon_{ilj}, t_{cj}) = \begin{cases} \frac{t_{cj} - \varepsilon_{ilj}}{t_{cj}}, & \varepsilon_{ilj} \leq t_{cj} \\ 0, & \varepsilon_{ilj} \geq t_{cj} \end{cases} \quad (2)$$

для параметрів, значення яких повинні попадати у визначений діапазон між нижньою

$\underline{\varepsilon}_{ilj}$  та верхньою  $\overline{\varepsilon}_{ilj}$  межами (3):

$$s(\varepsilon_{ilj}, t_{cj}) = \begin{cases} \frac{t_{cj} - \underline{\varepsilon}_{ilj}}{t_{cj}}, & \underline{\varepsilon}_{ilj} \leq t_{cj} \\ 0, & \underline{\varepsilon}_{ilj} \leq t_{cj} \leq \overline{\varepsilon}_{ilj} \\ \frac{\overline{\varepsilon}_{ilj} - t_{cj}}{\overline{\varepsilon}_{ilj}}, & \overline{\varepsilon}_{ilj} \geq t_{cj} \end{cases} \quad (3)$$

для характеристик, вимірювання яких не забезпечується варіантом розвідувальної апаратури та тактичним прийомом  $T_c$  (4):

$$s(\varepsilon_{ilj}, t_{cj}) = 1 \quad (4)$$

Оцінювання близькості значень  $j$ -го параметра  $c$ -го варіанта розвідувальної апаратури та тактичного прийому ПвР та  $j$ -ї характеристики  $l$ -го об'єкта  $i$ -го завдання виконаємо за допомогою функції відповідності (5):

$$f(\varepsilon_{ilj}, t_{cj}) = \left[ 1 - s(\varepsilon_{ilj}, t_{cj}) \right] K_1 K_2 \quad (5)$$

де  $K_1$  та  $K_2$  – коефіцієнт наявності перешкод (атмосферні умови) та коефіцієнт маскуванню.

Якщо у варіанті  $T_c$  немає параметра, який необхідний для вирішення завдання ПвР об'єктів  $\Psi_{il}$ , як можливих цілей для артилерії, то нев'язка  $S$  матиме максимальне значення, що дорівнює одиниці.

Функція відповідності  $f$  має тим більше значення, чим менше нев'язка, тобто чим менша різниця між значенням характеристики об'єкта, що вимірюється та значенням параметра розвідувальної апаратури та параметру польоту БпЛА.

Варіант розвідувальної апаратури та тактичний прийом ПвР БпЛА забезпечує в найбільшій мірі вирішення задачі, для якої функції відповідності всіх параметрів розвідувальної апаратури, параметрів польоту БпЛА та характеристик об'єктів, як можливих цілей для артилерії максимальні.

Щоб оцінити ефективність  $c$ -го варіанта розвідувальної апаратури та способу польоту на ПвР при розвідці кожного окремого об'єкта, як можливу ціль для артилерії визначимо функцію належності  $F_1(\Psi_{il}, T_c)$  у вигляді (6):

$$F_1(\Psi_{il}, T_c) = \sum_{j=1}^{m_{il}} \rho(\varepsilon_{ilj}, \Psi_{il}) f(\varepsilon_{ilj}, t_{cj}) \quad (6)$$

де  $\rho_{ilj}$  – ваговий коефіцієнт важливості характеристики  $j$  для  $l$ -го об'єкта  $i$ -го завдання ПвР, індекс  $i$  визначає конкретне завдання ПвР  $i \in 1, q$ ;

$l$  – об'єкт, як можлива ціль для артилерії  $l \in 1, k_l$ ;

$c$  – варіант розвідувальної апаратури та тактичний прийом польоту БпЛА  $c \in 1, r$ .

$$\sum_{j=1}^{m_{il}} \rho(\varepsilon_{ilj}, \Psi_{il}) = 1; \forall j \in 1, m_{il}$$

Можливість виконання завдання ПвР об'єктів, як можливих цілей для артилерії, пропонується оцінити за допомогою функції належності такого вигляду (7):

$$F_2(\Omega_i, T_c) = \sum_{j=1}^{m_{il}} \rho(\Psi_{il}, \Omega_i) F_1(\Psi_{il}, T_c) \quad (7)$$

де  $\rho(\Psi_{il}, \Omega_i)$  – ваговий коефіцієнт важливості розвідки об'єкта  $\Psi_{il}$  для виконання завдання  $\Omega_i$ , для нього також повинно виконуватися співвідношення:

$$\sum_{l=1}^{k_{il}} \rho(\Psi_{il}, \Omega_i) = 1; \forall l \in 1, k_{il}$$

Можливість виконання ПвР в цілому можна оцінити за допомогою функції належності такого вигляду (8):

$$F_3(\Omega, T_c) = \sum_{i=1}^q \rho(\Omega_i, \Omega) F_2(\Omega_i, T_c) \quad (8)$$

Як порогове значення функцій належності (7) можна взяти нуль. Якщо функція приналежності позитивна, будемо вважати, що розвідка об'єктів, як можливих цілей для артилерії  $\Psi_{il}$  може бути

виконана за допомогою наявної розвідувальної апаратури та визначеного тактичного прийому польоту й чим більше її значення, тим вища якість розвідки. Найбільшого значення, що дорівнює  $m_{il}$ , функція належності (7) досягає при співпадінні значень усіх параметрів розвідувальної апаратури й параметрів польоту БпЛА та характеристик критично важливих об'єктів. Це вказує на можливість ПвР  $l$ -го об'єкта, як можливу ціль для артилерії за допомогою даного варіанта розвідувальної апаратури та тактичного прийому ПвР та можна вважати, що значення функції належності ПвР об'єктів, як можливих цілей для артилерії дорівнює одиниці.

Таким чином, відношення:

$$p_{il}^c = \frac{F_1(\Psi_{il}, T_c)}{m_{il}} = \frac{\sum_{r=1}^{m_{il}} f(\varepsilon_{ilj}, t_{cj})}{m_{il}} \quad (9)$$

визначає ефективність ПвР  $l$ -го об'єкта, як можливої цілі для артилерії  $i$ -го завдання за

допомогою  $c$ -го варіанта розвідувальної апаратури й тактичного прийому польоту БпЛА.

Виконавши обчислення  $p_{il}^c$  (9) для всіх типів об'єктів, як можливих цілей для артилерії та варіантів розвідувальної апаратури й тактичних прийомів польоту, БпЛА можна визначити раціональний варіант розвідувальної апаратури та тактичний прийом польоту БпЛА для найбільш ефективного вирішення всієї множини завдань ПвР об'єктів, як можливих цілей для артилерії.

Основними вихідними даними для оцінювання ефективності варіанта ведення ПвР БпЛА об'єктів, як можливих цілей для артилерії за запропонованою моделлю є:  $H$  - висота ведення ПвР на етапі розвідки об'єктів, м;  $d$  - детальність ведення ПвР об'єктів, як можливих цілей для артилерії, м;  $\beta$  - кут огляду системи, градус;  $\gamma$  - миттєвий кут поля зору, мрад  $\times$  м;  $Dn$  - розрізна здатність розвідувальної системи, лін/мм;  $B$  - ширина смуги огляду місцевості, м. (рис.2)

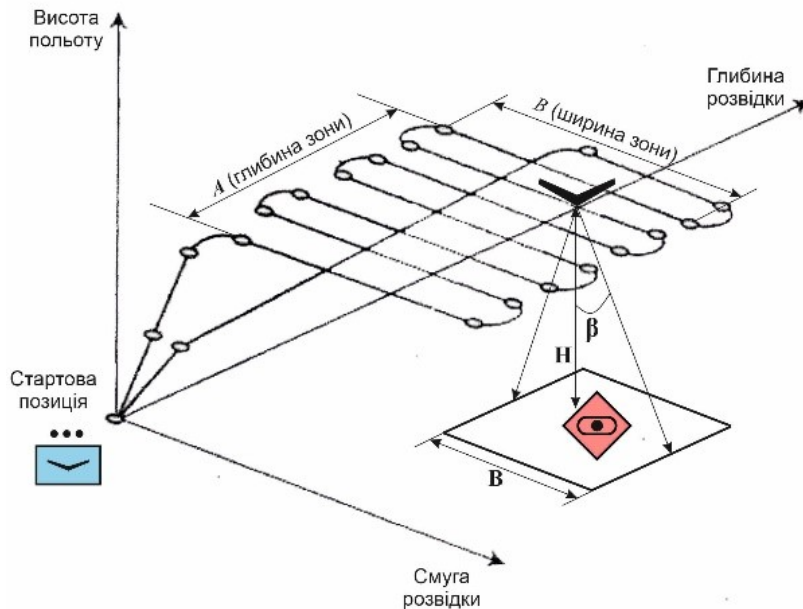


Рис. 2. Зв'язок між кутом огляду системи  $\beta$ , висотою  $H$  та шириною смуги огляду місцевості  $B$

Висока ефективність ПвР БпЛА об'єктів, як можливих цілей для артилерії, забезпечується при таких умовах:

детальність  $d$ , з якою ведеться ПвР, повинна забезпечувати надійне виявлення та розпізнавання типів об'єктів, як можливих цілей для артилерії;

ширина смуги огляду місцевості  $B$  повинна забезпечувати максимальну кількість попадань об'єктів у цю смугу;

розмір зображення на фото-, ІЧ- аерознімках змінюється по їх полю в залежності від кута огляду системи  $\beta$  (рис. 2.) і в межах кута  $\beta = 0...40^\circ$  зміна розміру зображення незначна, але при захватах  $\beta = 40...80^\circ$  і більше розмір зображення

змінюється і на краю становить всього від 1/2 до 1/8 початкового розміру об'єкта й менше.

При попаданні об'єкту, як можливої цілі для артилерії на край зображення, ймовірність його виявлення та розпізнавання набагато знизиться.

**Блок 8. Формулювання рекомендацій органу управління щодо порядку вибору раціонального варіанта ведення ПвР БпЛА об'єктів, як можливих цілей для артилерії** (у випадку відповідності отриманих результатів заданим вимогам, після проведення на їх основі оцінювання ефективності варіантів розвідки).

Виходячи з цього, модель застосування БпЛА в інтересах виконання ВгЗ артилерією в збройних

конфліктах пропонується подати у вигляді певних блоків за назвами процесів, що описані вище:

1. Введення вхідних даних.
2. Оцінювання оперативно-тактичної обстановки.
3. Визначення умов ведення ПвР.
4. Визначення об'єктів ПвР, як можливих цілей для артилерії.
5. Визначення характеристик об'єктів ПвР, як можливих цілей для артилерії.
6. Формування варіантів ведення ПвР об'єктів, як можливих цілей для артилерії.
7. Оцінювання можливої ефективності впровадження варіантів ведення ПвР об'єктів, як можливих цілей для артилерії.
8. Формулювання рекомендацій органу управління щодо порядку вибору раціонального варіанта ведення ПвР БпАК об'єктів, як можливих цілей для артилерії.

### Література

1. Репіло Ю. С., Головченко О. В., Іщенко О. В. Контент-аналіз уроків збройного конфлікту в Нагірному Карабасі щодо вогневої підтримки військових формувань Азербайджану в наступальних діях. *Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України. Військові та технічні науки*. Хмельницький, 2021. № 1 (84). С. 86–99. DOI: <https://doi.org/10.32453/3.v84i1.805>.
2. Головченко О., Іщенко О., Линок Н. Здобуті уроки ведення бойових дій артилерійськими підрозділами в ході збройного конфлікту на Сході України за аспектом живучості в 2014–2015 роках. *Воєнно-історичний вісник* : зб. наук. пр. Київ, 2021. № 1 (39). С. 82–96. DOI: <https://doi.org/10.33099/2707-1383-2021-39-1-82-96>.
3. Мосов С. П., Погорельський М. В., Салій С. М., Селюков О. В., Фещенко А. Л. Безпілотна авіація у військовій справі : монографія / під ред. С. П. Мосова. Київ : Інтерсервіс, 2019. 324 с.
4. Головченко О. В. Тенденції ведення збройної боротьби армією російської федерації – дослідження через призму контент-аналізу. *Грааль науки*. 2021, № 7, С. 122-124. DOI: <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.27.08.2021.020>.
5. Горбенко В. М., Коршець О. А. Стратегічна повітряна операція як один із можливих інструментів у гібридній війні Російської Федерації проти України. *Journal of Scientific Papers "Social Development and Security"*. 2022. № 12 (2). С. 14–30. DOI: <https://doi.org/10.33445/sds.2022.12.2.2>.
6. Про схвалення Основних напрямів розвитку озброєння та військової техніки на довгостроковий період : розпорядження Кабінету Міністрів України від 14.06.2017 № 398-2017-р // База даних "Законодавство України" / ВР України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/398-2017-%D1%80#Text> (дата звернення: 22.12.2022).
7. Орлов В. В., Лисий М. І., Сівак В. А., Купрієнко Д. А., Кульчицький В. М., Добровольський, А. Б. Дослідження можливостей звуколокації БпЛА у завданнях моніторингу терористичних загроз. *Visnyk NTUU KPI Seria - Radiotekhnika Radioaparaturubuduvannia*. 2019 № 79, С. 24–32. DOI: <https://doi.org/10.20535/RADAP.2019.79.24-32>.

### Висновки і перспективи подальших досліджень

Таким чином, запропонована модель застосування БпАК в інтересах виконання ВгЗ артилерією в збройних конфліктах, дає змогу отримати чисельні значення параметрів роботи розвідувальної апаратури та параметрів польоту, відповідно вимог до виконання ВгЗ артилерією. Отримані значення пропонується вважати, як основу подальшого обґрунтування рекомендацій відповідним органам управління щодо ефективного застосування БпАК в інтересах виконання ВгЗ артилерією в збройних конфліктах.

Вважається, що використання розробленої моделі надасть змогу обґрунтування необхідних параметрів, що використовуються в інтересах виконання ВгЗ артилерією в збройних конфліктах, а також для розробки відповідних рекомендацій щодо підвищення ефективності застосування БпАК.

8. Лупандін В. А., Мегельбей Г. В., Мацько О. Й., Куртсеїтов Т. Л., Міроненко П. О. Основні тенденції створення та застосування груп безпілотних літальних апаратів. *Наука і техніка Повітряних сил Збройних сил України*. Харків : ХНУПС імені Івана Кожедуба. 2019. № 2(35). С. 88–96. DOI: <https://doi.org/10.30748/nitps.2019.35.11>.
9. Казаків В. М., Вода Ю. Л. Застосування безпілотних авіаційних комплексів в інтересах обслуговування стрільби артилерії. *Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил*. 2017. № 5(54). С. 54-57. URL: [https://www.hups.mil.gov.ua/periodic-app/article/17898/zhups\\_2017\\_5\\_12.pdf](https://www.hups.mil.gov.ua/periodic-app/article/17898/zhups_2017_5_12.pdf) (дата звернення: 22.12.2022).
10. Курс підготовки артилерії збройних сил України (бригада, дивізіон, батарея, взвод, гармата). БП 7-07(11).01 : затв. наказом Генерального штабу Збройних Сил України від 11.03.2020 № 97. Київ: КСВ ЗС України, 2020. 226 с.
11. Стещенко П. М. Математична модель для оцінювання ефективності бойового застосування розвідувальних безпілотних авіаційних комплексів. *Озброєння та військова техніка*. Київ : ЦНДІ ОБТ ЗС України, 2016. № 2(10). С. 26–28. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ovt\\_2016\\_2\\_7](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ovt_2016_2_7) (дата звернення: 22.12.2022).
12. Репіло Ю. С., Головченко О. В. Модель ведення бойових дій артилерійськими підрозділами під час вогневої підтримки у ході ведення наступальних дій. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*. Київ, 2021. № 1 (40). С. 153–162. DOI: <https://doi.org/10.33099/2311-7249-/2021-40-1-153-162>.
13. Городнов В. П., Купрієнко Д. А., Сукоцько С. М. Комплексна модель оцінювання можливостей військової частини національної гвардії України з охорони ядерної установки. *Честь і закон*. Харків, 2019. № 2 (69). С. 20–32. DOI: <https://doi.org/10.33405/2078-7480/2019/2/69/177895>.
14. Репіло Ю. С., Головченко О. В., Купрієнко Д. А. Модель застосування ракетних та артилерійських

підрозділів під час вогневої підтримки в операції (бою) з використанням теорії випадкових процесів зі скінченною множиною станів. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*. Київ, 2022. № 2 (44). С. 28–37. DOI: <https://doi.org/10.33099/2311-7249-/2022-44-2-28-37>.

15. **Адаменко М. В.**, Заболотний О. А. Математична модель функціонування органів радіолокаційної розвідки РВіА. *Збірник наукових праць Центру воєнно-стратегічних досліджень Національного університету оборони України імені Івана Черняхівського*. Київ : НУОУ імені Івана Черняхівського. 2018. № 1 (62). С. 107–112. DOI: <https://doi.org/10.33099/2304-2745/2018-1-62/107-112>.

16. **Артюшин Л.М.**, Ребрин Ю.К., Толубко В.Б., Уваров А.Ю., Черных Ю.М. Воздушная разведка наземных целей беспилотными летательными аппаратами. Київ : НАОУ, 2004. 244 с.

17. **Артюшин Л.М.**, Мосов С.П., П'яковський Д.В., Толубко В.Б. Аерокосмічна розвідка в локальних війнах сучасності : досвід, проблемні питання і тенденції : монографія / за ред. Л.М. Артюшина. Київ : НАОУ, 2002. 208 с.

18. **Моисеев В.С.** Основы теории эффективного применения беспилотных летательных аппаратов :

монография / за ред. В.С. Моисеев. Казань : РИЦ “Школа”, 2015. 444 с.

19. **Khudov H.**, Oleksenko O., Lukianchuk V., Herasymenko V., Yaroshenko Y., Ishchenko O., Ikaiev D., Golovchenko O., Volobuiev A., Drob Y., Solomonenko Y., Khizhnyak I. The determining the flight routes of unmanned aerial vehicles groups based on improved ant colony algorithms. The determining the flight routes of unmanned aerial vehicles groups based on improved ant colony algorithms. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*. 2021. Vol. 11, Issue 9. P. 23–32. DOI: [http://dx.doi.org/10.46338/ijetae0921\\_03](http://dx.doi.org/10.46338/ijetae0921_03).

20. **Maistrenko O.V.** Devising a procedure for substantiating the type and volume of redundant structural-functional elements of reconnaissance-firing systems / and Karavanov O., Riman O., Kurban V., Shcherba A., Volkov I., Kravets T., Semiv G. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. Vol. 2, No 3 (110). P. 31–42. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.229031>.

21. **Gorodnov V. P.**, Kyrylenko V. A., Repilo I. E. The states final probabilities analytical description in queuing system with an entrance flow of requirements group, with waiting and leaving the queue. *Radio Electronics, Compture, Science, Control*, 2020. No. (4). P. 35–47. DOI: <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2020-4-4>.

## A MODEL OF APPLICATION OF UNMANNED AVIATION COMPLEXES IN THE INTERESTS OF PERFORMING FIRE TASKS BY ARTILLERY IN ARMED CONFLICTS

*Iurii Repilo (Doctor of Military Sciences, Professor)  
Oleksii Ishchenko*

*National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskyi, Kyiv, Ukraine*

*In order to ensure the possibility of evaluating the effectiveness of the use of unmanned aircraft systems in the interests of the performance of fire missions by artillery in armed conflicts, a model of the use of unmanned aircraft systems in the interests of the performance of fire missions by artillery in armed conflicts is proposed due to the correspondence of the capabilities of unmanned aircraft systems in relation to aerial reconnaissance, taking into account the parameters of the flight of an unmanned aircraft apparatus and characteristics of intelligence objects.*

*The purpose of the article is the need to solve the task of developing a model for the use of unmanned aircraft systems in the interests of the performance of fire missions by artillery in armed conflicts. The purpose of the process of choosing a rational variant of conducting aerial reconnaissance by unmanned aircraft complexes of objects, as possible targets for artillery, is to make a decision on the selection of a variant of reconnaissance equipment and tactical reception of the flight of an unmanned aerial vehicle with defined parameters of their application, which would satisfy the maximum probability of aerial reconnaissance of an unmanned aerial vehicle apparatus of objects as possible targets for artillery.*

*The article proposes a model of the use of unmanned aircraft systems in the interests of artillery firing missions in armed conflicts, which makes it possible to obtain numerical values of reconnaissance equipment operation parameters and flight parameters, in accordance with the requirements for artillery firing missions. The obtained values are proposed to be considered as the basis for further substantiation of recommendations to the relevant governing bodies regarding the effective use of unmanned aircraft systems in the interests of artillery fire missions in armed conflicts.*

**Keywords:** *aerial reconnaissance, unmanned aircraft complex, artillery.*