

УДК: 355.58:614.8:355.4

DOI: 10.33099/2311-7249/2025-54-3-172-180

ГУТЧЕНКО Олег Андрійович,

кандидат військових наук, старший дослідник,
Центральний науково-дослідний інститут Збройних Сил України, Київ, Україна,
<https://orcid.org/0000-0001-5918-1545>

ГУТЧЕНКО Катерина Сергіївна,

кандидат медичних наук,
Центральний науково-дослідний інститут Збройних Сил України, Київ, Україна,
<https://orcid.org/0009-0008-6377-7745>

ЛОЗА Володимир Вікторович,

кандидат технічних наук,
Національний університет оборони України, Київ, Україна,
<https://orcid.org/0000-0001-7547-1147>

МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПІДРОЗДІЛІВ ХІМІЧНОГО, БІОЛОГІЧНОГО, РАДІАЦІЙНОГО ТА ЯДЕРНОГО ЗАХИСТУ ПІД ЧАС АЕРОЗОЛЬНОГО МАСКУВАННЯ ВІЙСЬК ВІД БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ З ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИМИ СИСТЕМАМИ НАВЕДЕННЯ

З огляду на значні зміни можливостей засобів ураження противника ефективність сил і засобів хімічного, біологічного, радіаційного та ядерного захисту військ набуває актуальності. Сьогодні наявні методи оцінювання ефективності сил і засобів хімічного, біологічного, радіаційного та ядерного захисту демонструють обмеження у врахуванні повного переліку факторів, які впливають на показники ефективності виконання завдань аерозольного маскування, що вимагає їх удосконалення.

Метою статті є висвітлення методу оцінювання ефективності підрозділів хімічного, біологічного, радіаційного та ядерного захисту під час аерозольного маскування військ від безпілотних літальних апаратів з оптико-електронними системами наведення.

Методи дослідження. У роботі використано аналітичні методи, математичного програмування та теорії ймовірності. Аналітичні методи дали змогу вибрати необхідний кількісний склад засобів хімічного, біологічного, радіаційного та ядерного захисту військ з урахуванням типу об'єкта захисту, удосконалення якісного складу засобів хімічного, біологічного, радіаційного та ядерного захисту за рахунок впровадження перспективних зразків аерозольного маскування. Методом цілочисельного математичного лінійного програмування розв'язана оптимізаційна задача визначення складу засобів аерозольного маскування, які забезпечать маскування військ протягом максимального часу. Методи теорії ймовірності дозволили комплексно підійти до визначення узагальненого показника ефективності – ступеня зменшення кількості уражених критичних елементів об'єкта та ймовірності виходу безпілотного літального апарату до об'єкта. Інтеграція цих методів забезпечила підґрунтя для розроблення методу, який охоплює оцінювання ефективності виконання завдань хімічного, біологічного, радіаційного та ядерного захисту, зокрема аерозольного маскування військ.

Отримані результати дослідження. За рахунок застосування у методі узагальненого показника зменшення кількості уражених критичних елементів об'єкта стало можливим з більшою точністю розробити рекомендації щодо обґрунтування вимог до складу сил і засобів хімічного, біологічного, радіаційного та ядерного захисту під час аерозольного маскування військ від безпілотних літальних апаратів з оптико-електронними системами наведення. На відміну від тих, які застосовувалися раніше, зазначений показник дозволяє оцінити ефект збереження військ (елементів об'єктів) із застосуванням засобів аерозольного маскування. Запропоновано метод, який розроблено шляхом інтеграції аналітичних методів, математичного програмування та методів теорії ймовірності.

Елементи наукової новизни. Вперше запропоновано підхід до оцінювання ефективності виконання завдань аерозольного маскування врахуванням коефіцієнта прикриття військ і об'єктів з урахуванням швидкості і характеру середнього вітру та вертикальної стійкості повітря. Викладено спосіб визначення ймовірності ураження одиночних об'єктів за відсутності або наявності аерозольного маскування в умовах застосування противником безпілотних літальних апаратів, зокрема з оптико-електронними системами наведення.

Теоретичне та практичне значення статті. Результати дослідження можуть бути використані для вдосконалення методичного забезпечення процесів оцінювання, планування та виконання завдань хімічного, біологічного, радіаційного та ядерного захисту, підвищення ефективності прийняття управлінських рішень органами управління хімічного, біологічного, радіаційного та ядерного захисту у Збройних Силах України за рахунок використання методу.

Ключові слова: ефективність хімічного, біологічного, радіаційного та ядерного захисту, аерозольне маскування, метод, аналітичні методи, метод математичного програмування, методи теорії ймовірності, Збройні Сили.

Вступ

Постановка проблеми. Аналіз досвіду російсько-української війни свідчить про активне застосування противником розвідувальних та ударних безпілотних літальних апаратів (далі – БпЛА) [1; 2]. Найбільш поширеними моделями БпЛА для ведення розвідки (коригування вогню) є «Орлан-10», «Орлан-3М», «Гранат-1, 2, 3, 4», «Застава», «Zala 421-08», «Форпост». Відмічені випадки застосування БпЛА для здійснення диверсій на важливих об'єктах.

Одним із заходів, що використовується для захисту військ від дії розвідувальних та ударних БпЛА є аерозольне маскування. Зростання масштабів застосування розвідувальних та ударних БпЛА суттєво підвищує потребу військ в аерозольному маскуванні для зниження ефективності ведення повітряної розвідки противника та дії його засобів ураження, а також для введення противника в оману стосовно дій сил оборони.

Аерозольне маскування покладається на частини (підрозділи) військ хімічного, біологічного, радіаційного та ядерного (далі – ХБРЯ захисту), можливості яких нині обмежені [3]. Відповідно до Стратегічного оборонного бюлетеня України потребує вирішення проблема оснащення Збройних Сил України (далі – ЗС України) сучасним озброєнням і військовою (спеціальною) технікою, зокрема, військ ХБРЯ захисту ЗС України [3]. Крім того, існуючі засоби аерозольного маскування зберігаються з перевищенням термінів, а наявність новітніх основних зразків аерозольного маскування становить 5–6 % від загальної потреби. Це впливає на ефективність аерозольного маскування військ.

Для прийняття обґрунтованих рішень щодо удосконалення кількісно-якісного складу наявних сил і засобів ХБРЯ захисту ЗС України необхідно використовувати метод оцінювання їх ефективності, зокрема засобів аерозольного маскування.

Сьогодні для оцінювання ефективності засобів аерозольного маскування органами військового управління ХБРЯ захисту використовується адитивний інтегральний показник впливу умов вертикальної стійкості повітря на ефективність аерозольного маскування, в якому використовуються типові часткові показники (вертикальна стійкість повітря, температура повітря, вологість повітря, швидкість приземного вітру, характер приземного вітру, атмосферний тиск), що мають різну розмірність [4]. Але ці часткові показники не враховують можливості сучасних розвідувальних та ударних БпЛА перебувати в районі дислокації військ протягом тривалого часу та вплив швидкості і характеру середнього вітру на тривалість аерозольного маскування. Водночас, використання шкали Харрінгтона дасть змогу перетворити натуральні значення часткових показників, які мають різну розмірність у безрозмірну шкалу та врахувати вплив швидкості і характеру середнього вітру на тривалість аерозольного маскування.

Отже, актуальність статті зумовлена необхідністю врахування у методі оцінювання ефективності підрозділів ХБРЯ захисту під час аерозольного

маскування військ від БпЛА впливу фактору засобів розвідки та ураження противника, зокрема БпЛА та швидкості і характеру середнього вітру на час аерозольного маскування. Метод дасть змогу розробити вимоги до складу сил і засобів ХБРЯ захисту стосовно аерозольного маскування військ від розвідувальних та ударних БпЛА для усунення невідповідності між можливостями засобів розвідки і ураження противника та наявними можливостями складу сил і засобів аерозольного маскування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням аерозольного маскування військ від дії засобів повітряної розвідки та ураження присвячені наукові роботи [4–7], у яких автори зосереджуються на питаннях підвищення ефективності виконання завдань аерозольного маскування військ.

Проведений огляд наявних досліджень і публікацій свідчить, що низка наукових робіт зосереджені на оцінюванні ефективності аерозольного маскування як одного із завдань ХБРЯ захисту. Один із відомих методів використовує аналітичну залежність, яка враховує вплив швидкості приземного вітру [5]. За даними очікуваної метеорологічної обстановки обирається значення швидкості приземного вітру в районі об'єкта, що прикриватиметься і на підставі отриманої функції залежності параметрів аерозольного маскування від швидкості приземного вітру уточнюється площа аерозольного маскування, створювана *i*-им засобом ХБРЯ захисту. В групах методик тактичних розрахунків оцінюються можливості та визначається потреба в силах і засобах для прикриття об'єктів і виконання типових завдань аерозольного маскування. Розрахунок містить: визначення площі маскування; дистанцій між рубежами аерозольного маскування; інтервалів між аерозольними вогнищами на рубежах; загального числа вогнищ; кількість одночасно спалених шашок в кожному вогнищі та загальної витрати шашок за час аерозольного маскування [4]. Однак, наявні методи не враховують впливу фактору розвідки та ураження противника, зокрема БпЛА, а також швидкості і характеру середнього вітру на час аерозольного маскування, що взаємопов'язано з величиною уражених елементів об'єктів.

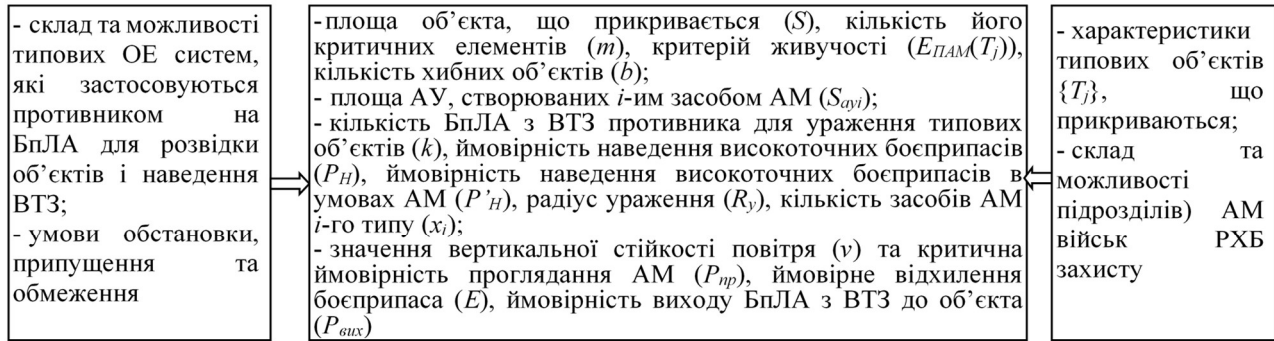
Отже, можна зробити висновок, що наявні методи, спрямовані переважно на визначення необхідної кількості *i*-их засобів та враховують не в повному обсязі специфіку впливу умов на ефективність застосування аерозольного маскування, зокрема часу перебування засобів розвідки і ураження в районі дислокації військ та їх аерозольного маскування.

Метою статті є висвітлення методу оцінювання ефективності підрозділів хімічного, біологічного, радіаційного та ядерного захисту під час аерозольного маскування військ від безпілотних літальних апаратів з оптико-електронними системами наведення.

Виклад основного матеріалу дослідження

Метод складається з двох етапів і передбачає послідовність дій наведену на рис. 1.

Етап 1. Підготовка вхідних даних для оцінювання ефективності застосування аерозольного маскування військ від дії розвідувальних та ударних БпЛА



Етап 2. Визначення показників ефективності

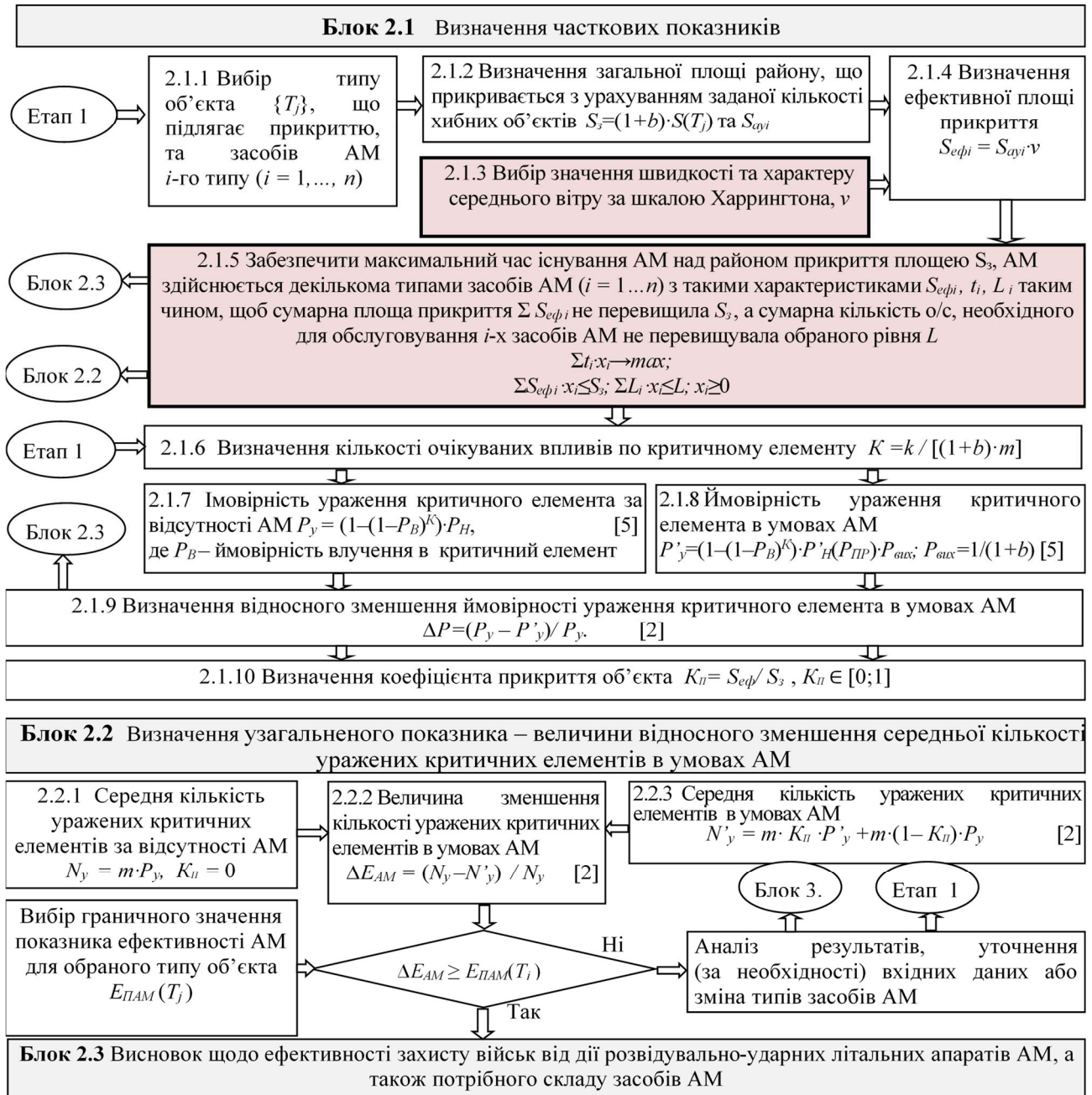


Рисунок 1 – Метод оцінювання ефективності підрозділів хімічного, біологічного, радіаційного та ядерного захисту під час аерозольного маскування військ від безпілотних літальних апаратів з оптико-електронними системами наведення

Перший етап методу містить три блоки, в яких здійснюється формування вхідних даних щодо розвідувальних та ударних БпЛА, які застосовуються для розвідки та ураження високоточною зброєю (далі – ВТЗ) з оптико-електронними системами наведення, характеристики типових об'єктів прикриття, складу та можливостей частин (підрозділів) аерозольного маскуванню військ ХБРЯ захисту, умов обстановки.

На другому етапі здійснюється вибір (обґрунтування) часткових і узагальнених показників оцінювання ефективності застосування частин (підрозділів) аерозольного маскуванню військ ХБРЯ захисту, орієнтовних напрямків її підвищення, а також умов і обмежень.

Вибір показників для оцінювання ефективності виконання завдань аерозольного маскуванню є одним із найважливіших етапів вирішення наукового завдання методу оцінювання ефективності. Для цього здійснено уточнення показників виконання завдань аерозольного маскуванню, величина яких повинна характеризувати ступінь зменшення кількості уражених критичних елементів об'єкта в умовах впливу засобів розвідки і ураження противника. Для досягнення цієї мети поєднано відомі аналітичні математичні моделі з математичними моделями імовірнісного (стохастичного) характеру, які потрібно розробити та які дозволять враховувати вплив випадкових факторів операції на можливості підрозділів аерозольного маскуванню виконувати завдання.

З огляду на те, що виконання завдань підрозділами ХБРЯ захисту з аерозольного маскуванню критичних елементів об'єктів прикриття за своєю суттю належить до сфери безпеки застосування військ, а сам процес виконання ними завдань знижує імовірність ураження військ (об'єктів), для оцінювання ефективності аерозольного маскуванню у роботі застосовано поєднання аналітичних методів і методів теорії імовірності.

У якості показників обираються:

часткові показники – коефіцієнт прикриття об'єкта (K_{Π}), імовірності ураження одиночних об'єктів за відсутності аерозольного маскуванню (P_y) та в умовах аерозольного маскуванню (P'_y), ступінь відносного зменшення ймовірності ураження об'єкта в умовах аерозольного маскуванню (ΔP), ефективна площа прикриття об'єктів (S_{ef}), середня кількість уражених одиночних об'єктів без застосування аерозольного маскуванню (N_y) та із застосуванням аерозольного маскуванню (N'_y);

узагальнений показник – ступінь зменшення середньої кількості уражених критичних елементів об'єктів, що прикриваються, в умовах АМ (ΔE_{AM}). Взаємозв'язок між показниками ефективності застосування частин (підрозділів) аерозольного маскуванню військ хімічного, біологічного, радіаційного та ядерного захисту від дії розвідувальних та ударних безпілотних літальних апаратів наведений на рис. 2.

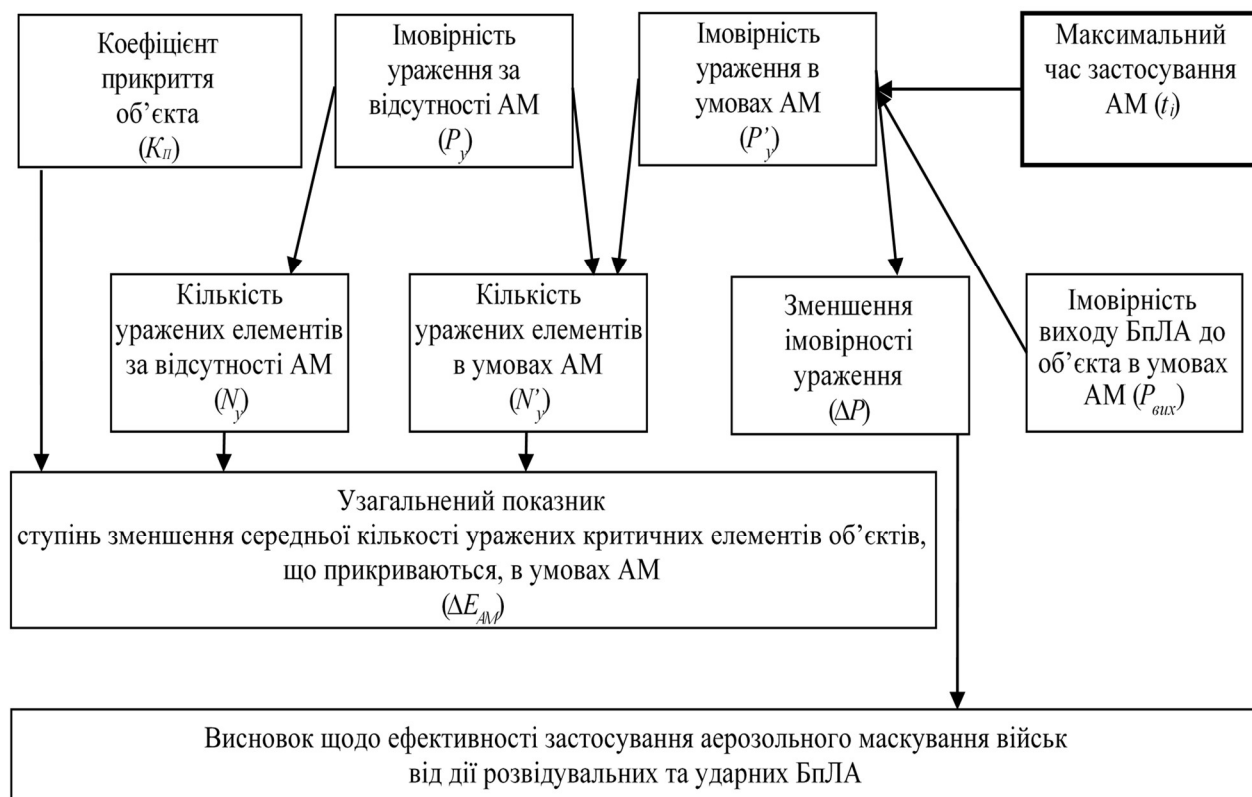


Рисунок 2 – Схема взаємозв'язків між показниками ефективності застосування частин (підрозділів) аерозольного маскуванню військ хімічного, біологічного, радіаційного та ядерного захисту від дії розвідувальних та ударних безпілотних літальних апаратів

У блоці 2.1.1 здійснюється вибір типу об'єкта $\{T_j\}$, який підлягає аерозольному маскуванню, початкової кількості димових машин ($n = 1$) певного типу $\{i\}$.

У блоці 2.1.2 визначається потрібна площа прикриття $S_3 = (1+b) \cdot S(T_j)$ та площі АУ $S_{AVi} = n_i \cdot S_i$.

У блоці 2.1.3 здійснюється вибір значення стану повітря за шкалою Харрінгтона. Найчастіше обмежуються трьома градаціями шкали Харрінгтона, які відповідають рівням впливу швидкості та характеру середнього вітру «малосприятливий», «помірно сприятливий», «сприятливий». Тому в методиці пропонуються області, які відповідають рівням «малосприятливий», «помірно сприятливий», «сприятливий» і характеризуються інтервалами (0,00–0,37), (0,37–0,69), (0,69–1,00) відповідно.

У блоці 2.1.4 визначається ефективна площа прикриття з урахуванням впливу швидкості та характеру середнього вітру $S_{ef} = S_{ay} \cdot v$.

У блоці 2.1.5 визначається потрібна кількість засобів аерозольного маскування з урахуванням об'єкту прикриття.

Сутність цього етапу є те, що розв'язується оптимізаційна задача цілочисельного лінійного програмування знаходженням максимального значення цільової функції:

$$\sum t_i \cdot x_i \rightarrow \max. \quad (1)$$

Вираз (1) описує застосування аерозольного маскування військ з урахуванням обмежень, що склад засобів аерозольного маскування i -го типу виконає заданий обсяг аерозольного маскування військ щодо прикриття площі S_3 за умови максимізації часу аерозольного маскування військ, щоб сумарна площа прикриття $\sum S_{efi}$ не перевищила S_3 , а сумарна кількість особового складу, необхідного для обслуговування i -х засобів аерозольного маскування не перевищувала обраного рівня L :

$$\sum S_{efi} \cdot x_i \leq S_3; \sum L_i \cdot x_i \leq L; x_i \geq 0. \quad (2)$$

Якщо отримана величина обсягу аерозольного маскування військ щодо прикриття площі S_3 більша або дорівнює заданій, то це свідчить про те, що можливостей складу засобів аерозольного маскування – достатньо.

У блоці 2.1.6 – визначається кількість очікуваних впливів по критичному елементу $K = k / [(1+b) \cdot m]$.

У блоці 2.1.7 – визначається імовірність ураження одиночного об'єкта за відсутності аерозольного маскування $P_y = (1 - (1 - P_B)^K) \cdot P_H$

У блоці 2.1.8 – визначається імовірність ураження одиночного об'єкта в умовах аерозольного маскування $P'_y = (1 - (1 - P_B)^K) \cdot P'_H(P_{PR}) \cdot P_{вих}; P_{вих} = 1/(1+b)$.

У блоці 2.1.9 відповідно до визначених імовірностей ураження одиночного об'єкта за відсутності аерозольного маскування та в умовах аерозольного маскування (P_y, P'_y) проводиться визначення ступеня відносного зменшення імовірності

ураження одиночного об'єкта в умовах аерозольного маскування $\Delta P = (P_y - P'_y) / P_y$.

У блоці 2.1.10 – визначення коефіцієнта прикриття об'єкта $K_{\Pi} = S_{ef} / S_3$.

У блоці 2.1.11 на підставі визначених значень (N_y) та (N'_y) визначається ступінь відносного зменшення середньої кількості уражених одиночних об'єктів в умовах аерозольного маскування (ΔE_{AM}).

Отримане значення (ΔE_{AM}) порівнюється з вимогами до ефективності застосування аерозольного маскування військ частинами (підрозділами) військ ХБРЯ захисту ($E_{ПAM}$).

Надалі, згідно зі схемою методу отримана величина ΔE_{AM} порівнюється з потрібною величиною $E_{ПAM}$. За відповідності прийнятої умови $\Delta E_{AM} \geq E_{ПAM}$ вважається, що ефективність застосування аерозольного маскування відповідає потрібній ефективності. Якщо зазначена умова не виконується, алгоритм методу передбачає повернення на етап формування вхідних даних, їхню часткову заміну і проведення повторних розрахунків до досягнення потрібної величини ΔE_{AM} .

Отже, на відміну від наявних методів, у запропонованому методі здійснюється визначення показника, який безпосередньо характеризує максимальний час застосування аерозольного маскування військ. Крім того, замість спрощеного підходу, заснованого на використанні впливу швидкості приземного вітру, в методиці використана шкала Харрінгтона, яка дала змогу перетворити натуральні значення часткових показників стану атмосферного повітря (вертикальна стійкість повітря, температура повітря, вологість повітря, швидкість приземного вітру, характер приземного вітру, атмосферний тиск) різних розмірностей в безрозмірну шкалу та врахувати вплив швидкості і характеру середнього вітру на тривалість часу аерозольного маскування.

Для перевірки працездатності методу проведено чисельний експеримент, для цього прийняті такі припущення та обмеження:

об'єкт являє собою площинну ціль, що складається з окремих критичних елементів бойового порядку або позицій;

щільність розподілу БпЛА противника по всіх критичних елементах бойового порядку вважається однаковою;

типіві об'єкти, їх критичні елементи та критерії оцінювання ефективності застосування аерозольного маскування військ від дії розвідувальних та ударних БпЛА наведені в табл. 1 [6]. Критичними елементами є: командно-штабна машина (далі – КШМ), командно-спостережний пункт (далі – КСП), бойова машина піхоти (далі – БМП), зенітна самохідна установка (далі – ЗСУ), самохідна артилерійська установка (далі – САУ), командний пункт (далі – КП), радіолокаційна станція (далі – РЛС), пункт управління (далі – ПУ).

Таблиця 1

Типові об'єкти, їх критичні елементи та критерії оцінювання ефективності підрозділів хімічного, біологічного, радіаційного та ядерного захисту під час аерозольного маскування військ від безпілотних літальних апаратів

Типові об'єкти ураження	Загальна кількість критичних елементів, од.	Критичні елементи об'єктів	БпЛА противника для ураження типових об'єктів		Відсоток критичного ураження, %	Граничне значення показника ефективності АМ
			Керовані ракети	Всього		
КП <i>омбр (отбр)</i>	2	КШМ	2	4	35	0,65
		ВЗ	2			
Позиції <i>мр (тр)</i>	10	КСП – 1	2	11	46	0,54
		БМП (танк) – 9	по 1			
Позиції <i>зрбатр</i>	7	КСП – 1	2	8	43	0,57
		ЗСУ – 6	по 1			
Позиції <i>гсбатр</i>	5	КСП – 1	2	6	30	0,7
		САУ – 4	по 1			
Позиції <i>рлр</i>	7	КП – 1	2	8	70	0,3
		РЛС – 6	по 1			
Аеродром базування авіації	31	ПУ – 1	2	32	30	0,7
		літак – 30	по 1			

1. Вибрано вхідні дані.

Для прикриття позицій зрбатр (далі – об'єкт) зі складу підрозділу аерозольного маскування можуть бути виділені:

димові машини ТДА-2М з уточненою площею $S_{ayTDA} = 0,116 \text{ км}^2$ і часом дії $t_{TDA} = 180 \text{ хв}$;

димові шашки УДШ з $S_{ayUDSH} = 0,005 \text{ км}^2$ і часом дії $t_{UDSH} = 10 \text{ хв}$;

максимальна кількість особового складу 120 люд., для застосування однієї димової машини ТДА-2М $L_{TDA} = 2 \text{ люд.}$, димових шашок УДШ $L_{UDSH} = 15 \text{ люд./500 шт.}$,

Вертикальна стійкість повітря $v = 0,3$.

Об'єкт прикриття – елементи бойового порядку (критичні елементи) – стартові позиції пускових установок та КСП ($m = 7$).

Площа об'єкта прикриття $S = 0,5 \text{ км}^2$.

Кількість хибних об'єктів $b = 2$.

Кількість літальних апаратів з ВТЗ противника для ураження стартових позицій пускових установок та КСП $k = 8 \text{ од.}$

Критична ймовірність проглядання аерозольного маскування, створювана одним засобом аерозольного маскування $P_{np} \leq 0,1$;

Ймовірне відхилення високоточного боєприпасу $E \leq 10 \text{ м.}$

Радіус ураження $R_y = 10 \text{ м.}$

Ймовірність наведення за відсутності аерозольного маскування $P_{ic} \approx 0,95$.

Показник живучості обраного об'єкта за рахунок аерозольного маскування $E_{ПМ}(T_j) \geq 0,70$.

2. Відповідно до методу визначено загальну площу району, що прикривається:

$$S_z = (1+b) \cdot S(T_j) = (1+2) \cdot 500 = 1,5 \text{ км}^2.$$

3. Для визначення ефективної площі аерозольного маскування обрано рівень впливу вертикальної стійкості повітря 0,3 – «малосприятливий».

4. Ефективна площа аерозольного маскування, створювана однією машиною ТДА-2М і однією шашкою УДШ становлять відповідно:

$$S_{efTDA} = S_{ayTDA} \cdot v = 0,116 \cdot 0,3 = 0,034;$$

$$S_{efUDSH} = S_{ayUDSH} \cdot v = 0,005 \cdot 0,3 = 0,0015 \text{ км}^2.$$

5. У результаті розв'язання оптимізаційної задачі отримаємо, що максимальний час застосування аерозольного маскування забезпечать $x_1 = 27$; $x_2 = 424$, що не суперечить обмеженням.

6. Проведено визначення кількості очікуваних впливів по одному критичному елементу і отримано, що кількість очікуваних впливів по одному критичному елементу не прикритого об'єкта становить $K = k/m = 8/7 = 1,14$, а в умовах прикриття об'єкта:

$$K = k/[(1+b) \cdot m] = 8/[(1+2) \cdot 7] = 0,4.$$

7. З урахуванням відхилення боєприпасу та радіусу ураження, ймовірність влучення боєприпасу в критичний елемент становитиме $P_e \approx 0,996$.

8 З урахуванням значень P_e та K визначено, що ймовірність ураження критичного елемента за відсутності аерозольного маскування становитиме $P_y \approx 0,948$, а в умовах АМ ($P'_y \approx 0,029$).

9. Визначено ймовірність наведення керованих ракет в умовах аерозольного маскування:

$$P'_{H(P_{PP})} = P_H \cdot P_{PP} = 0,95 \cdot 0,1 \approx 0,095.$$

10. Ймовірність виходу носія ВТЗ до об'єкта з урахуванням кількості хибних об'єктів ($b = 2$) становить $P_{вих} \approx 0,333$.

11. Ступінь зменшення ймовірності ураження критичного елемента в умовах аерозольного маскування становитиме:

$$\Delta P = (P_y - P'_y)/P_y = 0,948 - 0,029 = 0,91.$$

12. З урахуванням кількості критичних елементів у межах об'єкта, що прикривається, та ймовірності ураження критичного елемента в умовах аерозольного маскування проведено визначення середньої кількості уражених критичних елементів за відсутності аерозольного маскування та в умовах аерозольного маскування: Відповідно отримано:

$$N_y = m \cdot P_y = 7 \cdot 0,948 = 6,636 \approx 7,$$

$$N'_y = m \cdot K_{II} \cdot P'_y + m \cdot (1 - K_{II}) \cdot P_y =$$

$$= 7 \cdot 0,2 \cdot 0,029 + 7 \cdot (1 - 0,8) \cdot 0,948 \approx 2.$$

13. Ступінь зменшення кількості уражених критичних елементів в умовах аерозольного маскування $\Delta E_{AM} = (N_y - N'_y) / N_y = (7 - 2) / 7 = 0,71$.

14. Граничне значення показника ефективності аерозольного маскування для обраного типу об'єкта:

$$E_{ПAM}(T_j) - 0,70.$$

15. Отримане значення ступеня зменшення кількості уражених критичних елементів в умовах аерозольного маскування (ΔE_{AM}) порівнюємо з граничним значенням показника ефективності аерозольного маскування для обраного типу об'єкта $E_{ПAM}(T_j)$. Оскільки $0,71 > 0,70$, то вважаємо, що ефективність виконання завдань аерозольного маскування відповідає заданому рівню.

У разі невідповідності умові передбачається повернення на етап формування вхідних даних, їх уточнення (зміна) і проведення повторних розрахунків до досягнення потрібної величини ΔE_{AM} . Зокрема, можуть уточнюватись типи засобів аерозольного маскування, обмеження кількості особового складу (M), кількість хибних об'єктів (b), що потребують аерозольного маскування разом із основним об'єктом.

Також проведені контрольні розрахунки з оцінювання ефективності підрозділів ХБРЯ захисту під час аерозольного маскування аеродрому базування авіації, який прикривається силами і засобами підрозділу аерозольного маскування окремої бригади підтримки. Використані вхідні дані, зміст яких наведено у табл. 2.

Таблиця 2

Вхідні дані для оцінювання ефективності виконання завдань аерозольного маскування аеродрому базування авіації та результати розрахунків

Вхідні дані та результати розрахунків	Варіанти вхідних даних для оцінювання ефективності виконання завдань АМ			
	1	2	3	4
Розміри аеродрому базування авіації, що прикривається, м	1500 × 1500			
Швидкість вітру, м/с	1	2	3	3
Кількість машин аерозольного маскування ТДА-2М, од	13	13	13	14
Граничне значення показника ефективності АМ для обраного типу об'єкта (критерій)	0,7			
Показник ефективності	0,74	0,71	0,67	0,72

Результати чисельного експерименту для наведеного прикладу свідчать про таке:

за 1-им варіантом ступінь зменшення кількості уражених критичних елементів в умовах АМ більше граничного значення показника ефективності аерозольного маскування для обраного типу об'єкта, що дозволяє зробити висновок про відповідність заданому рівню ефективності виконання завдань АМ;

за 2-им варіантом, при однаковій з 1-им варіантом кількості засобів АМ, але збільшенні швидкості приземного вітру до 2 м/с, ефективність АМ ще буде достатньою;

за 3-им варіантом, при однаковій з попередніми варіантами кількості засобів АМ та збільшенні швидкості приземного вітру до 3 м/с, ступінь зменшення кількості уражених критичних елементів в умовах АМ менше граничного значення показника ефективності АМ для обраного об'єкта, що вказує про невідповідність заданому критерію. Проблема вирішується завдяки додаванню ще однієї димової машини ТДА-2М або заміни штатних димових машин на засоби АМ більшої продуктивності, про що свідчить 4-ий варіант.

Висновки й перспективи подальших досліджень

Отже, у статті висвітлено метод оцінювання ефективності підрозділів хімічного, біологічного, радіаційного та ядерного захисту під час аерозольного маскування військ від безпілотних літальних апаратів з

оптико-електронними системами наведення.

Новизною запропонованого є врахування коефіцієнта прикриття військ і об'єктів з урахуванням швидкості і характеру середнього вітру. Також, викладено спосіб визначення ймовірності ураження одиночних об'єктів за відсутності або наявності аерозольного маскування в умовах застосування противником безпілотних літальних апаратів, зокрема з оптико-електронними та комбінованими системами наведення.

Працездатність методу доведена результатами чисельного експерименту. Зазначене свідчить про можливість використання методу для оцінювання ефективності підрозділів хімічного, біологічного, радіаційного та ядерного захисту під час аерозольного маскування військ від безпілотних літальних апаратів з оптико-електронними системами наведення. за обраними частковими та узагальненими показниками, а також удосконалення кількісно-якісного складу наявних засобів аерозольного маскування з урахуванням впливу на час застосування аерозольного маскування сучасних засобів розвідки, зокрема, безпілотних літальних апаратів та показників вітру.

Метод є розвитком методичного апарату оцінювання ефективності сил і засобів хімічного, біологічного, радіаційного та ядерного захисту та основою формування практичних рекомендацій щодо підвищення ефективності аерозольного маскування частинами (підрозділами) хімічного, біологічного, радіаційного та ядерного захисту Збройних Сил України.

Перспективами подальших досліджень є розроблення, на підставі наведеного у статті підходу, методу розв'язання інформаційно-розрахункових задач для органів військового управління щодо оцінювання ефективності підрозділів хімічного,

біологічного, радіаційного та ядерного захисту під час аерозольного маскування військ від безпілотних літальних апаратів з оптико-електронними системами наведення.

Список бібліографічних посилань

1. Шовкошитний І. І., Василенко О. А. Проблемні питання ройового застосування ударних безпілотних літальних апаратів. Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. 2023. №3 (48). С. 27–34. DOI: 10.33099/2311-7249/2023-48-3-27-34. 2. Застосування безпілотних систем у Силах оборони України: доктрина / Генеральний штаб Збройних Сил України. Київ, 2024. 59 с. (ОП 3-0(46)). 3. Хімічний, біологічний, радіаційний та ядерний захист військ (сил): доктрина / Командування Сил підтримки Збройних Сил України. Київ, 2025. 33 с. (ОП 3-0(25)). 4. Гутченко А. Г., Гишко В. О., Прокоф'єв В. О. Тактичні розрахунки із завдань служби РХБ захисту: метод. посіб. Харків: ХНУПС, 2017. 48 с. 5. Петрушенко М. М.,

Коваль В. В. Застосування аерозольних утворень для захисту військових об'єктів від ударів літаків тактичної авіації: метод. посіб. Вінниця; Харків: ХНУПС, 2012. 127 с. 6. Кравчук І. С., Туренко С. М., Сподін О. І., Нікітченко В. І., Чигрин Р. М. Методика визначення маскувальних характеристик аерозольних утворень з урахуванням контрастності об'єктів, що прикриваються. Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. 2021. № 3(44). С. 147–153. DOI: 10.30748/nitps.2021.44.17. 7. Дмитренко М. В., Герус Ю. А., Матикін О. В. [та ін.]. Засоби аерозольного маскування та запалювальна зброя: метод. посіб. Харків: ХІТВ, 2006. 115 с.

METHOD FOR ASSESSING THE EFFECTIVENESS OF CHEMICAL, BIOLOGICAL, RADIATION AND NUCLEAR PROTECTION UNITS DURING AEROSOL MASK OF TROOPS FROM UNMANNED AIRCRAFT WITH OPTICAL-ELECTRONIC GUIDANCE SYSTEMS

HUTCHENKO Oleh, PhD in Military Science, Senior Researcher, Central Research Institute of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine, <https://orcid.org/0000-0001-5918-1545>

HUTCHENKO Kateryna, Candidate of Medical Science, Central Research Institute of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine, <https://orcid.org/0009-0008-6377-7745>

LOZA Volodymyr, Candidate of Technical Sciences, National University of Defence of Ukraine, Kyiv, Ukraine, <https://orcid.org/0000-0001-7547-1147>

Formulation of the problem in general. Given the significant changes in the capabilities of enemy means of destruction, the effectiveness of chemical, biological, radiation and nuclear protection forces and means of troops is becoming increasingly relevant. Currently, existing methods for assessing the effectiveness of chemical, biological, radiation, and nuclear protection forces and means demonstrate limitations in accounting for the full range of factors that affect the effectiveness of aerosol masking tasks, necessitating their improvement. **The purpose of this article** is to outline the method for evaluating the effectiveness of chemical, biological, radiation, and nuclear protection units in protecting troops from unmanned aerial vehicles using optoelectronic guidance systems during aerosol camouflage.

Research methods. The work employs analytical methods, mathematical programming, and probability theory. Analytical methods enabled the selection of the necessary quantitative composition of chemical, biological, radiation, and nuclear protection for troops, taking into account the type of protection object. This approach also improved the qualitative composition of chemical, biological, radiation, and nuclear protection means by introducing promising samples of aerosol camouflage. The method of integer mathematical linear programming solved the optimisation problem of determining the composition of aerosol camouflage means that will ensure the camouflage of troops for the maximum time. Probability theory methods enabled a comprehensive approach to calculating the generalised efficiency indicator, which measures the degree of reduction in the number of affected critical elements of the object and the probability of the carrier of high-precision weapons reaching the object. The integration of these methods provided the basis for developing a method that assesses the effectiveness of performing chemical, biological, radiation, and nuclear protection tasks.

Literature review. A review of existing research and publications reveals that several scientific works have focused on assessing the effectiveness of aerosol masking as a component of chemical, biological, radiological, and nuclear (CBRN) protection. One of the known methods employs an analytical dependence that accounts for the influence of surface wind speed. According to the expected meteorological conditions, the value of the surface wind speed in the area of the object to be covered is selected, and based on the obtained function of the dependence of aerosol masking parameters on the surface wind speed, the area of aerosol masking created by the *i*-th CBRN protection means is specified. In groups of tactical calculation methods, the capabilities are assessed, and the need for forces and means to cover objects and perform typical aerosol masking tasks is determined. The calculation includes: determining the masking area; distances between aerosol masking boundaries; intervals between aerosol foci at the boundaries; total number of foci; the number of simultaneously burned checkers in each fire; and the total consumption of checkers during the aerosol camouflage. However, existing methods do not account for the enemy's reconnaissance and defeat factors, including

unmanned aerial vehicles, as well as the speed and nature of the average wind, which are interconnected with the magnitude of predicted troop losses, on aerosol camouflage time.

Research results. It has been found generalized indicator of the reduction in the average number of critical elements of the object affected in the method, it became possible to develop recommendations with greater accuracy to substantiate the requirements for the effectiveness of the composition of forces and means of chemical, biological, radiation and nuclear protection during aerosol camouflage of troops from unmanned aerial vehicles with optical-electronic guidance systems. Unlike those used previously, this indicator enables you to assess the effect of preserving troops (or elements of objects) using aerosol camouflage. A method is proposed that integrates analytical methods, mathematical programming, and methods of probability theory.

Research novelty. for the first time, an approach to assessing the effectiveness of aerosol camouflage tasks is proposed, taking into account the cover coefficient of troops and objects, taking into account the speed and nature of the average wind. A method is presented for determining the probability of hitting single objects in the absence or presence of aerosol camouflage, under conditions where the enemy utilises unmanned aerial vehicles, particularly with optical-electronic guidance systems.

Theoretical and practical significance. The results of the study can be used to improve the methodological support of the processes of assessment, planning and implementation of tasks of chemical, biological, radiation and nuclear protection, and increase the efficiency of management decision-making by the management bodies of chemical, biological, radiation and nuclear protection in the Armed Forces of Ukraine through the use of the developed method.

Conclusion and future work. The article outlines the method for evaluating the effectiveness of CBRN defence units during aerosol camouflage of troops by unmanned aerial vehicles equipped with optoelectronic guidance systems. The novelty of the proposal lies in considering the cover coefficient of troops and objects, taking into account the speed and nature of the average wind. Additionally, a method is outlined for determining the probability of hitting single objects in the absence or presence of aerosol camouflage, under conditions where the enemy utilises unmanned aerial vehicles, particularly with optoelectronic and combined guidance systems. The effectiveness of the method is proven by the results of a numerical experiment. The above suggests the potential application of this method to evaluate the effectiveness of CBRN defence units during the aerosol camouflage of troops by unmanned aerial vehicles equipped with optoelectronic guidance systems. by selected partial and generalised indicators, as well as improving the quantitative and qualitative composition of existing aerosol camouflage means, taking into account the influence of modern reconnaissance means, in particular, unmanned aerial vehicles, and wind indicators on the time of application of aerosol camouflage. The method involves developing a methodological base for assessing the effectiveness of CBRN protection forces and means, as well as the basis for forming practical recommendations to enhance the effectiveness of aerosol camouflage by units (subunits) of the CBRN protection forces of the Armed Forces of Ukraine. The prospects for further research include the development, based on the method presented in the article, of information and calculation tasks for military command bodies to assess the effectiveness of CBRN protection units during aerosol camouflage of troops by unmanned aerial vehicles equipped with optical-electronic guidance systems.

Keywords: effectiveness of chemical, biological, radiation and nuclear protection, aerosol masking, method, analytical methods, mathematical programming method, probability theory methods, Armed Forces.

References

1. Shovkoshytnyi, I. I., Vasylenko, O. A., (2023) The problematic issues of swarming use of striking unmanned aerial vehicles. *Modern information technologies in the Sphere of Security and Defense*, 3(48), 27–34.
2. General Staff of the Armed Forces of Ukraine, (2023). Doctrine «The use of unmanned systems in the defense forces of Ukraine». Kyiv, (ОП 3-0(46)).
3. Command of the Support Forces of the Armed Forces of Ukraine, (2025). Doctrine «Chemical, Biological, Radiological and Nuclear Protection of Troops (Forces)». Kyiv, 33. OP 3-0(25).
4. Hutchenko, A. H., Hyshko, V. O. and Prokofiev, V. O., (2017). Tactical calculations for CBR protection service tasks: a methodological manual. Kharkiv: Kharkiv National University of the Air Force, 48.
5. Petrushenko, M. M., Koval, V. V., (2012). The using of aerosol formations to protect military facilities from strikes by tactical aircraft. Vinnytsia ; Kharkiv : Kharkiv National University of the Air Force, 127.
6. Kravchuk, I. S., Turenko, S. M., Spodin, O. I., Nikitchenko, V. I. and Chygryn, R. M., (2021). Methodology for determining the masking characteristics of aerosol formations considering the contrast of covered objects. *Science and Technology of the Air Forces of the Armed Forces of Ukraine*, 3(44), 147–153. DOI: <https://doi.org/10.30748/nitps.2021.44.17>.
7. Dmytrenko, M. M., Herus, Y. O., Matykin, O. B., (2006). Aerosol camouflage and incendiary weapons. Kharkiv : Military Institute of Tank Troops, 115.

Рукопис надійшов до редакції	30.09.2025
Рукопис прийнято до друку після рецензування	02.12.2025
Дата публікації	30.12.2025