

УДК: 355.58:614.8:355.4

DOI: 10.33099/2311-7249/2025-53-2-17-25

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>,

ГУТЧЕНКО Андрій Геннадійович,

Харківський національний університет Повітряних Сил Збройних Сил України імені Івана Кожедуба,
Харків, Україна,
<https://orcid.org/0009-0004-1748-6833>

УДОСКОНАЛЕНА МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХИСТУ ВІЙСЬК ВІД ХІМІЧНИХ, БІОЛОГІЧНИХ, РАДІАЦІЙНИХ ТА ЯДЕРНИХ ЗАГРОЗ

З огляду на динамічні зміни в характері сучасних хімічних, біологічних, радіаційних та ядерних загроз, ефективність відповідного засобу захисту військ набуває ключового значення. Наявні методики оцінювання такої ефективності захисту демонструють обмеженість у врахуванні повного спектра завдань захисту і показників ефективності їх виконання, що знижує практичну доцільність цих методик та зумовлює необхідність їх удосконалення. **Мета статті:** удосконалення методики оцінювання ефективності захисту військ від хімічних, біологічних, радіаційних та ядерних загроз.

Методи дослідження. У роботі використано елементи методу таксономії, математичного лінійного програмування та метод експертних оцінок. Зазначений методичний підхід дав змогу комплексно підійти до оцінювання ефективності захисту військ від хімічних, біологічних, радіаційних та ядерних загроз. Метод таксономії дав змогу здійснити систематизацію різномірних характеристик засобів хімічного, біологічного, радіаційного та ядерного захисту за ступенем їх важливості, взаємозв'язку та впливу на можливості виконання завдань. Метод експертних оцінок, у свою чергу, було використано для визначення вагових коефіцієнтів засобів хімічного, біологічного, радіаційного та ядерного захисту. Застосування методу цілочисельного математичного лінійного програмування дало змогу розв'язати оптимізаційну задачу щодо вибору раціонального складу засобів хімічного, біологічного, радіаційного та ядерного захисту в умовах мінімуму вартості цих засобів, які дадуть змогу виконати потрібний обсяг завдань. Інтеграція цих методів забезпечила підґрунтя для розроблення удосконаленої методики, яка охоплює оцінювання ефективності виконання комплексу завдань хімічного, біологічного, радіаційного та ядерного захисту.

Отримані результати дослідження. Проведений огляд наявних досліджень і публікацій свідчить, що більшість наукових робіт зосереджені на оцінюванні ефективності виконання окремих завдань або функціонування підсистем хімічного, біологічного, радіаційного та ядерного захисту. Недостатньо уваги надано інтегральним показникам ефективності засобів хімічного, біологічного, радіаційного та ядерного захисту, які враховують ефективність виконання різномірних завдань хімічної, біологічної та радіаційної розвідки, аерозольного маскування, вогневого ураження противника під час бойових дій. Виявлено, що більшість наявних методик оцінюють ефективність обмежено від впливу дій противника та не охоплюють усі завдання хімічного, біологічного, радіаційного та ядерного захисту. Запропоновано удосконалення існуючих підходів шляхом інтеграції елементів методу таксономії, багатокритеріальних оцінок із використанням експертних методів, а також методів математичного лінійного програмування.

Елементи наукової новизни. Вперше запропоновано підхід до оцінювання ефективності виконання завдань хімічного, біологічного, радіаційного та ядерного захисту, що ґрунтується на використанні тактико-технічних характеристик відповідних засобів захисту і визначенні їх вагових коефіцієнтів. Викладено спосіб визначення інтегрального показника ефективності виконання завдань цими засобами з урахуванням вагових коефіцієнтів.

Теоретична й практична значущість викладеного у статті. Результати викладеного у статті можуть бути використані для вдосконалення методичного забезпечення процесів оцінювання, планування та

виконання завдань хімічного, біологічного, радіаційного та ядерного захисту, підвищення ефективності прийняття управлінських рішень у Збройних Силах України.

Ключові слова: хімічна, біологічна та радіаційна розвідка, хімічні, біологічні, радіаційні та ядерні загрози, ефективність хімічного, біологічного, радіаційного та ядерного захисту, методики оцінювання, таксономія, експертні оцінки, лінійне програмування.

Вступ

Постановка проблеми. Тенденції розвитку форм і способів виконання завдань хімічного, біологічного, радіаційного та ядерного (далі – ХБРЯ) захисту визначають актуальність досліджень з оцінювання ефективності захисту військ від ХБРЯ загроз. Під ефективністю захисту військ від ХБРЯ загроз розуміється ступінь відповідності сил і засобів ХБРЯ захисту її цільовому призначенню, тому методика оцінювання ефективності захисту військ від ХБРЯ загроз має враховувати різноманітні завдання відповідного захисту [1; 2].

Оцінювання ефективності захисту військ від ХБРЯ загроз ґрунтується переважно на розрахунках окремих показників, що характеризують завдання ХБРЯ захисту військ (сил) та використовують можливості відповідних цим складовим сил і засобів [2–5]. Однак, обґрунтування ефективності ХБРЯ захисту, заснованого на такому підході, не повною мірою описує можливості сил і засобів ХБРЯ захисту Збройних Сил України, а також характер впливу загроз для відображення їх основних властивостей, процесів і станів. Звідси постає актуальне завдання щодо аналізу методик оцінювання ефективності захисту військ від ХБРЯ загроз, змісту показників, а також визначення шляхів удосконалення цих методик, які б враховували застосування засобів ХБРЯ захисту для виконання різноманітних завдань.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналізу методик оцінювання ефективності виконання завдань військами (силами) приділяється достатньо уваги у [2–5]. Проте, в науковій літературі більшою мірою висвітлено методичні підходи до оцінювання ефективності виконання завдань забезпечення військ (сил). Огляд цих методик висвітлює показники ефективності виконання окремих завдань ХБРЯ захисту або логістичного забезпечення військ (сил), а питанням використання комплексного показника ефективності захисту військ від ХБРЯ загроз надавалося менше уваги. Наприклад, у [2; 3] проаналізовано підходи до оцінювання ефективності виконання завдань частинами (підрозділами) аерозольного маскування (далі – АМ) військ, а також ураження противника вогнеметною зброєю.

У [4] розглянуто наявні методи обґрунтування порядку утримання запасів пально-мастильних матеріалів і оцінювання ефективності транспортного забезпечення військ для виконання потрібного обсягу завдань [5]. Ці методики використовуються в органах військового управління у процесі оперативного планування та під час проведення досліджень.

Наукові публікації свідчать про те, що методики оцінювання ефективності ХБРЯ захисту, можна розділити на такі групи:

методики тактичних розрахунків із завдань служби ХБРЯ захисту, які призначені для оцінювання

можливостей та визначення потреби в силах і засобах для ефективного захисту типових об'єктів військ [6];

методики оцінювання ефективності захисту військ (сил) від засобів розвідки та ураження противника маскуванню аерозолями [2; 3];

методики, які використовуються в процесі планування застосування сил і засобів ХБРЯ захисту [7; 8].

Зважаючи на викладене, пропонується проаналізувати ці методики та зміст показників ефективності, а також запропонувати шляхи їх удосконалення.

Метою статті є удосконалення методики оцінювання ефективності захисту військ від хімічних, біологічних, радіаційних та ядерних загроз.

Методика удосконалена завдяки використанню підходу до оцінювання ефективності виконання завдань ХБРЯ захисту на основі тактико-технічних характеристик засобів ХБРЯ захисту.

Виклад основного матеріалу дослідження

Загальною особливістю існуючих методик з оцінювання ефективності захисту військ від ХБРЯ загроз є наявність таких етапів:

формування вхідних даних; вибір і обґрунтування показників і критеріїв ефективності застосування угруповань військ (сил), а також ефективності застосування сил і засобів ХБРЯ захисту;

математична формалізація задачі (формування цільової функції) за обраними показниками і критеріями ефективності з урахуванням певних обмежень; побудова математичної моделі оцінювання ефективності виконання завдань сил і засобів ХБРЯ захисту;

оцінювання ефективності обраного складу сил і засобів ХБРЯ захисту або, за потреби, оптимальний синтез цього складу.

Стисла характеристика цих методик наведена авторами у таблиці 1. За результатами порівняльного аналізу даних, наведених у цій таблиці можна зробити такі висновки:

1. Існуючі методики тактичних розрахунків із завдань служби ХБРЯ захисту можуть бути використанні лише для визначення необхідної кількості засобів АМ у складі частин (підрозділів) ХБРЯ захисту під час виконання завдань за призначенням без урахування впливу на них загроз із боку противника. Перевагою є їх простота, що дає змогу використовувати методики для прикладних завдань, а також в освітньому процесі.

2. У методиці оцінювання ефективності захисту військ (сил) від засобів розвідки та ураження противника маскуванню аерозолями та подібних, обчислення здійснюється за такими показниками:

ймовірність виявлення та розпізнавання типового військового об'єкту, а також ступінь зниження ймовірності виявлення противником об'єктів розвідки за рахунок їх приховування або імітації [1; 2; 4].

Таблиця 1

Методики оцінювання ефективності захисту військ від хімічних, біологічних, радіаційних та ядерних загроз застосуванням сил і засобів хімічного, біологічного, радіаційного та ядерного захисту Збройних Сил України*

№ з/п	Методика	Позначення показника	Назва та зміст показника	Особливості методики
Методики тактичних розрахунків із завдань служби ХБРЯ захисту				
1.	Методика визначення сил, засобів і часу хімічної, біологічної та радіаційної розвідки розвідувальними машинами РХМ-4 та БРДМ-2РХБ [2]	$S_{\text{можл розвід}}$	Величина площі, яка розвідується наявними засобами хімічної, біологічної та радіаційної розвідки i -го типу – характеризує міру площі району ведення хімічної, біологічної та радіаційної розвідки. Показник змінюється в межах цілого ряду чисел	Методики використовуються в підрозділах хімічної, біологічної та радіаційної розвідки для оцінювання можливостей та визначення потреби в силах і засобах хімічної, біологічної та радіаційної розвідки
2.	Методика визначення сил, засобів і часу АМ засобами АМ димоутворюючими машинами ТДА-2М(К), уніфікованими димовими шашками [2]	$S_{\text{можл ам}}$	Величина площі, яка маскується засобами АМ i -го типу – характеризує міру площі району АМ. Показник змінюється в межах цілого ряду чисел	Методики використовуються в підрозділах АМ для оцінювання можливостей та визначення потреби в силах і засобах АМ
Методика оцінювання ефективності захисту військ (сил) від засобів розвідки та ураження противника маскуванню аерозолями				
3.	Методика оцінки ефективності застосування аерозольних утворень для захисту військ і об'єктів від ударів від розвідувально-ударних безпілотних літальних апаратів [3]	$K_{\text{ам}}$	Коефіцієнт прикриття об'єкта аерозольними утвореннями від розвідувально-ударних БпЛА – характеризує міру прикриття площі об'єкта та площі району АМ. Показник змінюється в межах [0; 1], максимальне значення відповідає випадку, коли об'єкт повністю знаходиться в межах АУ з урахуванням хибних районів АМ	У методиці враховано низку найбільш суттєвих чинників, які впливають на ефективність АМ різномірних об'єктів та викладено порядок вибору раціональних способів АМ в умовах невизначеності дій повітряного противника
Методики, які використовуються в процесі планування застосування сил і засобів ХБРЯ захисту				
4.	Методика планування застосування системи ХБРЯ захисту в операції оперативного угруповання військ [7]	$E_{\text{рхб}}$	Ефективність системи ХБРЯ захисту – характеризує співвідношення системного ефекту і витрат потенціалу здатності на його досягнення	У методиці вирішена задача оптимального розподілу сил і засобів ХБРЯ захисту за об'єктами та типовими завданнями ХБРЯ захисту
5.	Методика визначення необхідної величини запасів засобів ХБРЯ захисту [4]	$Q_{\text{рхб}}$	Величина запасів засобів ХБРЯ захисту – характеризує кількість запасів зазначених засобів, яка дозволяє військам успішно вести бойові дії відповідно до призначення, в будь-яких умовах обстановки, та реалізувати свої бойові можливості	У методиці запропонована сукупність взаємопов'язаних показників і критеріїв, яка дозволяє охарактеризувати вплив найбільш суттєвих чинників на величину запасів озброєння і засобів ХБРЯ захисту

*Джерело: розроблено авторами.

Недоліком методики є неврахування функціонування складової захисту військ у різних умовах, наприклад, залежності виявлення та розпізнавання об'єктів одночасно декількома засобами розвідки, які можуть бути встановлені на безпілотні літальні апарати (далі – БПЛА) та інші засоби розвідки противника (літаки-розвідники, вертольоти, аеростати). Перевагою є чутливість методики до зміни значень показників ефективності різнорідних засобів АМ щодо захисту військ від засобів розвідки противника та його засобів ураження.

3. Методики, які використовуються в процесі планування застосування сил і засобів ХБРЯ захисту, переважно, аналітичні та зосереджені на визначенні ймовірнісних показників (середньодобові втрати і витрати, ймовірність поповнення запасів засобів ХБРЯ захисту), які можуть характеризувати окремий сценарій застосування сил і засобів ХБРЯ захисту під час бойових дій [5; 6]. Наведені підходи, можуть застосовуватися лише для умов, за яких величина запасів засобів ХБРЯ захисту під час виконання завдань за призначенням, а також властивості цієї складової системи ХБРЯ захисту вважаються незмінними.

Зазначені методики мають певні обмеження, оскільки враховують окремі аспекти ефективності захисту військ від ХБРЯ загроз, що знижує їхню практичну цінність. Усе вищезазначене стало передумовами удосконалення методики оцінювання ефективності захисту військ від ХБРЯ загроз. Тому, для удосконалення наведеного методичного апарату доцільно використати підходи на основі поєднання методів системного аналізу, аналітичних та імітаційних моделей і показників, які б відображали величину впливу ХБРЯ загроз на спроможності військ (сил). Ці методи дають змогу врахувати властивості системи, її функціонування в різних умовах обстановки, а показники, більш точно оцінювати ефективність системи ХБРЯ захисту, об'єднаної єдиною метою.

Перевагами існуючих методів є: експертне оцінювання – вивчення складних систем в умовах невизначеності та важливості критеріїв побудови системи у вигляді ієрархії (мета – критерії – альтернативи); математичне лінійне програмування – визначення найкращого значення цільової функції за умов лінійних обмежень ресурсів; зважена сума – об'єднання нормованих показників ефективності за кількома критеріями в один інтегральний показник через застосування вагових коефіцієнтів.

Основою для удосконалення методик оцінювання ефективності захисту військ від ХБРЯ загроз пропонуються дві групи методичних підходів, які по-перше, передбачають оцінювання ефективності складних систем, а по-друге виконання комплексу завдань ХБРЯ захисту, а саме:

наближені до змісту вирішуваного завдання (комплексний захист військ (сил) – запобігання ХБРЯ загрозам, заходи захисту від них військ (сил) відновлення внаслідок реалізації цих загроз) показники методичних підходів, які використовуються

для оцінювання ефективності систем підтримки [1] та логістичного забезпечення [9]. Ці показники, обрані, переважно, для умов виконання декількох завдань підтримки (логістичного забезпечення) спрямованих на захист (забезпечення) військ (сил). Наприклад, наявні системні підходи до оцінювання ефективності інженерної або технічної розвідки, захисту засобами інженерної підтримки об'єктів від засобів повітряного нападу (БПЛА, літаків тактичної авіації), а також забезпечення запасами озброєння і засобів військ (сил) для створення сприятливих умов виконання покладених завдань;

наявні комплексні методики [2] за якими оцінюється ефективність виконання двох та більше завдань захисту військ (ведення хімічної, біологічної та радіаційної (далі – ХБР) розвідки, аерозольне маскування, ураження противника вогнететною зброєю) засобами ХБРЯ захисту, які можуть бути використані для удосконалення наявних методик в частині, що стосується функціонування складових системи ХБРЯ захисту.

Об'єкт дослідження методики. Процес оцінювання ефективності захисту військ від ХБРЯ загроз. Для оцінювання ефективності захисту військ від ХБРЯ загроз необхідно мати три взаємопов'язані між собою групи часткових показників, які характеризують виконання завдань ХБРЯ розвідки, аерозольного маскування, вогневого ураження противника.

Методика призначена для обґрунтованого оцінювання органами військового управління та командирами підрозділів (частин) ефективності захисту своїх військ від потенційних ХБРЯ загроз. Використання методики наведено на прикладі оцінювання ефективності виконання завдань засобами ХБР розвідки.

Сутність методики. Методика оцінювання ефективності засобів ХБР розвідки передбачає проведення розрахунків у чотири етапи.

На 1 етапі здійснюється формування вхідних даних, потрібних для проведення розрахунків, а саме:

завдання ХБР розвідки, які необхідно виконати;
загальна площа операційного району військ оперативного угруповання військ (далі – ОУВ), S , км²;
вартість однієї машини ХБР розвідки c_i , i -го типу, грн; заданий час на проведення ХБР розвідки, $T_{\text{розвід}}$, год.;

величина відносних втрат машин ХБР розвідки за одну годину проведення ХБР розвідки, $k_{\text{втр}}$.

Основними обмеженнями та припущеннями слід вважати:

1. Війська на початок операції основними зразками спеціальними машинами ХБРЯ захисту укомплектовані на 95%.

2. Коефіцієнт форми застосування військ в операції дорівнює 1.

3. Середній час безперервної роботи спеціальних машин ХБРЯ захисту військ в операції становить 10 год.

4. Відносні втрати машин ХБРЯ захисту підрозділів ХБРЯ захисту військ в операції складають 0,03 від їхньої загальної чисельності на початок операції.

На 2 етапі здійснюється визначення можливостей засобів ХБР розвідки і обсягу завдань ХБР розвідки, де проводяться розрахунки можливостей наявних засобів та кількості засобів ХБР розвідки і-го типу:

$$S_{\text{розвід } i}^{\text{можл}} = v_{i \text{ розвід}} \cdot x_{i \text{ розвід}} \cdot (1 - k_{\text{втр}}) \cdot T_{\text{розвід}}, \quad (1)$$

де: $S_{\text{розвід } i}^{\text{можл}}$ – величина площі, яка розвідується наявними засобами ХБР розвідки і-го типу, км²;

$v_{i \text{ розвід}}$ – можливості ведення ХБР розвідки однією машиною ХБР розвідки, км²/год.;

$x_{i \text{ розвід}}$ – наявна кількість машин ХБР розвідки і-го типу, од;

$k_{\text{втр}}$ – величина відносних втрат машин ХБР розвідки за одну годину проведення ХБР розвідки;

$T_{\text{розвід}}$ – заданий час на проведення ХБР розвідки, год.

Здійснюється розрахунок потрібної площі районів ХБР розвідки β-го типу (обсягу завдань ХБР розвідки) в районі проведення операції ОУВ:

$$S_{\text{розвід } i}^{\text{потр}} = \sum_{\alpha=1}^k S_{\text{розвід } \beta}, \quad (2)$$

де: $\sum_{\beta=1}^k S_{\text{розвід } \beta}$ – сума площ β-х районів, які займають підрозділи (частини) ОУВ, км²; $(\alpha=\overline{1,k})$ – місцевість та розмір β-го району, які характеризуватимуть його площу.

Далі, величина потрібного обсягу завдань ХБР розвідки порівнюється із величиною можливостей наявної кількості рухомих засобів і-го типу. У разі відповідності прийнятих умов вважається, що можливостей наявної номенклатури та кількості рухомих засобів ХБР розвідки і-го типу щодо забезпечення виконання завдань ХБР розвідки військ в операції ОУВ достатньо. Якщо ж зазначена умова не виконується, визначаємо склад засобів ХБР розвідки, який здатен забезпечити виконання потрібного обсягу завдань ХБР розвідки.

На 3 етапі визначаються вагові коефіцієнти засобів ХБР розвідки по їх характеристикам методом таксономії з використанням тактико-технічних характеристик (далі – ТТХ) α_{ij} машини (табл. 2).

Таблиця 2

Матриця значень α_{ij} машин хімічної, біологічної та радіаційної розвідки і-го типу*

Тип машини ХБР розвідки, і, (і=1,5)	j-та тактико-технічна характеристика машини, (j=1,5)				
	Комплектність обладнання з виконання спектру завдань ХБР розвідки, балів	Можливості з ведення радіаційної розвідки районів, км ²	Можливості з ведення хімічної розвідки, районів, км ²	Орієнтовний запас ходу, км	Орієнтовна потужність двигуна, к.с.
Козак	$\alpha_{11}=2$	$\alpha_{12}=30$	$\alpha_{13}=9$	$\alpha_{14}=500$	$\alpha_{15}=250$
PXM-4	$\alpha_{21}=3$	$\alpha_{22}=32$	$\alpha_{23}=10$	$\alpha_{24}=600$	$\alpha_{25}=260$
PXM-1	$\alpha_{31}=1$	$\alpha_{32}=36$	$\alpha_{33}=11$	$\alpha_{34}=400$	$\alpha_{35}=240$
Humvee CBRN	$\alpha_{41}=4$	$\alpha_{42}=40$	$\alpha_{43}=12$	$\alpha_{44}=750$	$\alpha_{45}=140$
Stryker CBRN	$\alpha_{51}=6$	$\alpha_{52}=50$	$\alpha_{53}=20$	$\alpha_{54}=650$	$\alpha_{55}=300$

*Джерело: розроблено авторами.

Оскільки елементи матриці мають різні одиниці вимірювання, вони приводяться до нормованого вигляду за виразом:

$$\alpha_{ij}^* = \frac{\alpha_{ij} - \alpha_{\theta}}{\sigma_j}, \quad (3)$$

де: α_{θ} – середньоарифметичне значення елементів j-го стовбця матриці;

α_{ij} – значення елементів j-го стовбця матриці;

σ_j – середньоквадратичне відхилення (дисперсії) від середньоарифметичного значення цих елементів (характеристик) кожного стовбця матриці;

де: середньоарифметичне значення елементів j-го стовбця матриці відповідно до табл.1.

$$\alpha_{\theta} = \frac{\sum_{i=1}^5 \alpha_{ij}}{5}; \quad (4)$$

незміщена оцінка середньоквадратичного відхилення (дисперсії) від середньоарифметичного значення цих елементів (характеристик) кожного стовбця матриці, табл. 2:

$$\sigma_j = \frac{\sum_{i=1}^5 (\alpha_{ij} - \alpha_{j\theta})^2}{5}. \quad (5)$$

Результати приведення до нормованого вигляду характеристик машини (засобу) ХБР розвідки ОУВ з використанням виразу (3) зводяться в таблицю 3.

Таблиця 3

Нормовані значення α_{ij}^* ТТХ машини (засобу) хімічної, біологічної та радіаційної розвідки*

Тип машини ХБР розвідки, i, (i=1,5)	j-та тактико-технічна характеристика машини, (j=1,5)				
	1	2	3	4	5
Козак	$\alpha_{11}^*=0,62$	$\alpha_{12}^*=0,95$	$\alpha_{13}^*=0,77$	$\alpha_{14}^*=0,59$	$\alpha_{15}^*=0,20$
РХМ-4	$\alpha_{21}^*=0,10$	$\alpha_{22}^*=0,70$	$\alpha_{23}^*=0,54$	$\alpha_{24}^*=0,14$	$\alpha_{25}^*=0,37$
РХМ-1	$\alpha_{31}^*=1,14$	$\alpha_{32}^*=0,20$	$\alpha_{33}^*=0,31$	$\alpha_{34}^*=1,33$	$\alpha_{35}^*=0,03$
Humvee CBRN	$\alpha_{41}^*=0,41$	$\alpha_{42}^*=0,30$	$\alpha_{43}^*=0,09$	$\alpha_{44}^*=1,25$	$\alpha_{45}^*=1,65$
Stryker CBRN	$\alpha_{51}^*=1,45$	$\alpha_{52}^*=1,56$	$\alpha_{53}^*=1,72$	$\alpha_{54}^*=0,51$	$\alpha_{55}^*=1,04$

*Джерело: розроблено авторами.

Наведені результати свідчать, що після центрування $\alpha_{ij} - \alpha_{\theta}$ і нормування (α_{ij}^*) отримані елементи α_{ij}^* можна вже порівняти між собою, на

відміну від попередніх значень елементів α_{ij} . Після використання виразу (3) формується нормована матриця з безрозмірними елементами:

$$A^* = \begin{bmatrix} \alpha_{11}^* & \alpha_{12}^* & \alpha_{13}^* & \alpha_{14}^* & \alpha_{15}^* \\ \alpha_{21}^* & \alpha_{22}^* & \alpha_{23}^* & \alpha_{24}^* & \alpha_{25}^* \\ \alpha_{31}^* & \alpha_{32}^* & \alpha_{33}^* & \alpha_{34}^* & \alpha_{35}^* \\ \alpha_{41}^* & \alpha_{42}^* & \alpha_{43}^* & \alpha_{44}^* & \alpha_{45}^* \\ \alpha_{51}^* & \alpha_{52}^* & \alpha_{53}^* & \alpha_{54}^* & \alpha_{55}^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,62 & 0,95 & 0,77 & 0,59 & 0,20 \\ 0,10 & 0,70 & 0,54 & 0,14 & 0,37 \\ 1,14 & 0,20 & 0,31 & 1,33 & 0,03 \\ 0,41 & 0,30 & 0,09 & 1,25 & 1,65 \\ 1,45 & 1,56 & 1,72 & 0,51 & 1,04 \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Далі, на цьому етапі, здійснено визначення вагових коефіцієнтів відповідних характеристик кожної машини (засобу) ХБР розвідки ОУВ за допомогою

методу анкетування. Сукупність цих вагових коефіцієнтів можна подати матрицею такого вигляду:

$$B = \begin{bmatrix} B_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & B_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & B_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & B_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & B_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,3 \end{bmatrix}, \quad (7)$$

У подальшому, на цьому етапі здійснено визначення вагових коефіцієнтів відповідних характеристик кожної машини (засобу) ХБР розвідки

ОУВ за допомогою методу анкетування. Сукупність цих вагових коефіцієнтів можна подати матрицею такого вигляду:

$$B = \begin{bmatrix} B_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & B_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & B_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & B_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & B_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,3 \end{bmatrix}, \quad (7)$$

де: B_j – «вага» j-их характеристик рухомого засобу ХБР розвідки, що аналізується, водночас

Потім потрібно перемножити нормовану $A^*(6)$ і діагональну B (7) матриці, при цьому кількість стовпців матриці A^* має дорівнювати кількості рядків матриці B . У результаті перемноження A^* і B матриць отримано «зважену» матрицю A^z :

$$\sum_{j=1}^5 B_j = 1. \quad (8)$$

$$A^z = \begin{bmatrix} \alpha_{11}^z & \alpha_{12}^z & \alpha_{13}^z & \alpha_{14}^z & \alpha_{15}^z \\ \alpha_{21}^z & \alpha_{22}^z & \alpha_{23}^z & \alpha_{24}^z & \alpha_{25}^z \\ \alpha_{31}^z & \alpha_{32}^z & \alpha_{33}^z & \alpha_{34}^z & \alpha_{35}^z \\ \alpha_{41}^z & \alpha_{42}^z & \alpha_{43}^z & \alpha_{44}^z & \alpha_{45}^z \\ \alpha_{51}^z & \alpha_{52}^z & \alpha_{53}^z & \alpha_{54}^z & \alpha_{55}^z \end{bmatrix}, \quad (9)$$

де $\alpha_{ij}^z = \alpha_{ij}^* \cdot B_j$ – елемент «зваженої» матриці дорівнює скалярному добутку i-ї вектор-строки матриці $A^*(6)$ на j-й вектор-стовпець діагональної матриці $B(7)$.

Результати перемноження нормованої A^* і діагональної B матриці зводяться в таблицю 4 та

свідчать, що найбільш важливими характеристиками засобів ХБР розвідки є можливості з ведення радіаційної розвідки, можливості з ведення хімічної розвідки, потужність двигуна.

Коефіцієнти α_{ij}^z машини (засобу) хімічної, біологічної та радіаційної розвідки*

Тип машини РХБ розвідки, $i, (i=\overline{1,5})$	j-та тактико-технічна характеристика машини, $(j=\overline{1,5})$				
	1	2	3	4	5
Козак	0,062	0,285	0,154	0,059	0,06
PXM-4	0,01	0,21	0,108	0,014	0,042
PXM-1	0,114	0,06	0,062	0,133	0,396
Humvee CBRN	0,041	0,09	0,018	0,125	0,495
Stryker CBRN	0,145	0,468	0,344	0,051	0,312

*Джерело: розроблено авторами.

Після «згортки» вагових коефіцієнтів характеристик α_{ij}^z отримано комплексні показники A_i^z машини (засобу) ХБР розвідки i-го типу:

$$A_i^z \text{ розвід} = \sqrt{(\alpha_{i1}^z)^2 + (\alpha_{i2}^z)^2 + \dots + (\alpha_{i5}^z)^2} \quad (10)$$

Сумарний показник ефективності засобів ХБР розвідки пропонується визначати завдяки використанню зазначених у табл. 4 характеристик щодо можливостей засобів ХБР розвідки з виконання обсягу завдань із подальшим визначенням вагових коефіцієнтів i-х засобів ХБР розвідки ω_i .

$$\omega_i \text{ розвід} = \frac{A_i^z \text{ розвід}}{\sum A_i^z \text{ розвід}} \quad (11)$$

Для визначення показників ефективності потрібно визначити кількість X_i засобів, які здатні виконати потрібний обсяг завдань за умови мінімізації вартості

усіх засобів з урахуванням вагових коефіцієнтів. Загальна вартість складу засобів має дорівнювати $\min \sum_{i=1}^n c_i \cdot X_i$ за умови виконання потрібного обсягу завдань ХБР розвідки:

$$\sum_{i=1}^n v_i \cdot \omega_i \cdot X_i \cdot T \sum_{i=1}^n S_{\text{розвід } i}^{\text{потр}} \quad (12)$$

За результатами вирішення оптимізаційної задачі вибираються невід'ємні значення змінних X_i , за яких цільова функція досягає мінімуму, тобто вибирається такий склад засобів, який за своєю вартістю має мінімальне значення, але здатний виконати потрібний обсяг завдань ХБР розвідки.

Отже, сумарний показник ефективності засобів ХБР розвідки визначається використанням вагових коефіцієнтів, обсягу завдань, часу виконання завдань, вартості засобів ХБР розвідки, середньодобові відносні втрати засобів ХБР розвідки, визначені відповідними нормами керівних документів (з урахуванням умов обстановки) за виразом:

$$E = \left(\omega_1 \frac{S_{\text{розвід } i}^{\text{потр}}}{S_{\text{розвід}}^{\text{max}}} + \omega_2 \frac{T_{\text{min}}}{T} + \omega_3 \frac{c_{\text{min}}}{c_i} + \omega_4 \cdot P_s + \omega_5 \cdot k_{\text{втр}} \right) \quad (13)$$

де: $S_{\text{розвід } i}^{\text{потр}}$ – загальний обсяг виконаних завдань ХБР розвідки;

$S_{\text{розвід}}^{\text{max}}$ – максимально можливий обсяг виконаних завдань ХБР розвідки в операції;

T_{min} – мініально можливий час виконання завдань ХБР розвідки;

P_s – середньодобові відносні втрати засобів ХБР розвідки, визначені відповідними нормами керівних документів;

c_{min} – мінімальна вартість серед варіантів складу засобів ХБР розвідки;

c_i – фактична повна вартість засобів ХБР розвідки з урахуванням втрат;

ω_i – вагові коефіцієнти засобів ХБР розвідки.

Наведені показники тісно пов'язані між собою, характеризують ступінь виконання обсягу завдань та дають змогу визначити ефективність захисту військ від ХБРЯ загроз.

Відмінністю удосконаленої методики від відомих є те, що використано підхід до оцінювання ефективності

виконання завдань ХБРЯ захисту на основі тактико-технічних характеристик засобів ХБРЯ захисту; визначено вагові коефіцієнти для засобів ХБРЯ захисту та обчислено інтегральний показник ефективності виконання завдань засобами ХБРЯ захисту з урахуванням визначених вагових коефіцієнтів.

Область застосування результатів методики. Методика може бути використана органами військового управління для обґрунтованого оцінювання ефективності захисту військ від ХБРЯ загроз.

Висновки й перспективи подальших досліджень

Отже, у статті наведено удосконалену методику оцінювання ефективності захисту військ від хімічних, біологічних, радіаційних та ядерних загроз, яка будується на елементах методу таксономії, експертних методах та методах математичного програмування.

У наведеній методиці вперше запропоновано підхід до оцінювання ефективності виконання завдань хімічного, біологічного, радіаційного та ядерного захисту використанням тактико-технічних

характеристик відповідних засобів, а також визначенням їх вагових коефіцієнтів, які відображають, наскільки конкретні засоби придатні для виконання завдань порівняно з іншими аналогами. Викладено спосіб визначення сумарного показника ефективності виконання завдань цими засобами з урахуванням вагових коефіцієнтів.

Запропонована методика дасть змогу точніше оцінювати ефективність захисту військ від хімічних, біологічних, радіаційних та ядерних загроз та може

бути використана органами військового управління для обґрунтованого оцінювання стану захищеності своїх військ.

Перспективами подальших досліджень є розроблення програмного забезпечення оцінювання ефективності захисту військ від хімічних, біологічних, радіаційних та ядерних загроз, що дасть змогу скоротити час роботи штабів і відповідних служб на виконання зазначеного завдання.

Список бібліографічних посилань

1. Мещеряков І. С., Хомік М. М., Мацько А. В., Нагорний Є. І. Функціонування системи ХБРЯ захисту у ході широкомасштабної збройної агресії РФ проти України. *Український журнал військової медицини*. 2022. Т. 3. № 4. С. 60–66. DOI: 10.46847/ujmm.2022.4(3)-060.
2. Поплавець С., Гузченко С., Воробйов О., Авраменко О., Шумейко В. Можливий підхід щодо визначення раціонального складу сил та засобів радіаційного, хімічного, біологічного захисту для виконання заходів в умовах радіоактивного та хімічного зараження. *Social Development and Security*. 2022. Т. 12. № 5. С. 130–146. DOI: 10.33445/sds.2022.12.5.12.
3. Гутченко О. А., Гутченко К. С., Тіхонов І. М., Ушмаров П. В. Розвиток засобів маскування дій військ та об'єктів із застосуванням аерозолів. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. 2014. № 3. С. 154–157. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nitps_2014_3_37 (дата звернення: 19.06.2025).
4. 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.
5. Авраменко О., Коцюрба В., Даценко І. Методи оцінки ефективності логістичного забезпечення угруповань різномірних сил (військ). *Соціальний розвиток і безпека*. 2021. Т. 11. № 6. С. 262–269. DOI: 10.33445/sds.2021.11.6.20.
 6. Гутченко А. Г., Гишко В. О., Прокоф'єв В. О. Тактичні розрахунки із завдань служби РХБ захисту: метод. посіб. Харків: ХНУПС, 2017. 48 с.
 7. Поплавець С., Гишко Г., Кушпета Р., Явтушенко В., Колмогоров О., Шамрай Н., Третяк Д. Обґрунтування показників та критеріїв формування раціональної структури системи радіаційного, хімічного, біологічного захисту. *InterConf*. 2021. С. 448–460. DOI: 10.51582/interconf.19-20.03.2021.039.
 8. Радіаційний, хімічний, біологічний захист підрозділів: наочний посібник / Г. А. Матвеев, Р. В. Казмірчук, К. М. Хом'як [та ін.]. Львів: НАСВ, 2019. 127 с.
 9. Хімічний, біологічний, радіаційний та ядерний захист військ (сил): доктрина / Командування Сил підтримки Збройних Сил України. Київ, 2025. 33 с. (ОП 3-0(25)).

IMPROVED METHODOLOGY FOR ASSESSING THE EFFECTIVENESS OF PROTECTING TROOPS FROM CHEMICAL, BIOLOGICAL, RADIOLOGICAL AND NUCLEAR THREATS

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>

HUTCHENKO Andriy, Kharkiv National University of the Air Force named after Ivan Kozhedub, Kharkiv, Ukraine, <https://orcid.org/0009-0004-1748-6833>

Formulation of the problem in general. Given the dynamic changes like modern chemical, biological, radiation and nuclear threats, the effectiveness of chemical, biological, radiation and nuclear protection measures for troops is of key importance. Today, existing methods for assessing the efficacy of chemical, biological, radiation and nuclear protection demonstrate limitations in considering the full range of chemical, biological, radiation and nuclear protection tasks and indicators of their effectiveness, which reduces their practical usefulness and requires improvement. **The purpose of the article** is to present the methodology for assessing the effectiveness of the protection of troops from chemical, biological, radiation, and nuclear threats.

Research methods. The work uses taxonomy elements, mathematical linear programming and expert assessment methods. This methodological approach made it possible to take a comprehensive approach to assessing the effectiveness of protecting troops from chemical, biological, radiation and nuclear threats. The taxonomy method made it possible to systematise the diverse characteristics of chemical, biological, radiation and nuclear protection measures according to their degree of importance, interconnection and impact on the ability to perform tasks. The expert assessment method, in turn, was used to determine the weighting coefficients of chemical, biological, radiation and nuclear protection measures. Using the integer mathematical linear programming method made it possible to solve the optimisation problem of selecting a rational composition of chemical, biological, radiation and nuclear protection measures at minimum cost, allowing the required volume of tasks to be performed. The integration of these methods provided the basis for developing an improved methodology that assesses the effectiveness of performing a set of chemicals, biological, radiation and nuclear protection tasks.

Literature review. The review shows that most scientific works focus on evaluating the effectiveness of individual tasks or the functioning of chemical, biological, radiation and nuclear protection subsystems. Insufficient attention is paid to the integral indicators of the efficacy of chemical, biological, radiation and nuclear protection measures, which consider the effectiveness of performing various tasks of chemical, biological and radiation reconnaissance, aerosol camouflage, and fire damage to the enemy during combat operations.

Research results. It has been found that most of the existing methods assess effectiveness in a limited way from the influence of enemy actions and do not cover all chemical, biological, radiation and nuclear protection tasks. Improvements to existing approaches are proposed through integrating elements of taxonomy, multi-criteria assessments using expert methods, and mathematical linear programming methods.

Research novelty. For the first time, an approach has been proposed for assessing the effectiveness of chemical, biological, radiation and nuclear protection tasks using the tactical and technical characteristics of chemical, biological, radiation and nuclear protection equipment, as well as determining their weight coefficients. A method for determining the integral indicator of the effectiveness of performing tasks with these means, considering weight coefficients, is presented.

Theoretical and practical significance. The results of the study can be used to improve the methodological support of the processes of assessment, planning and execution of chemical, biological, radiation and nuclear protection tasks, and to increase the effectiveness of management decision-making in the Armed Forces of Ukraine.

Conclusion and future work. Existing methodologies have a limited ability to assess the effectiveness of diverse chemical, biological, radiation and nuclear protection tasks. To ensure its full functioning, it is necessary to introduce new approaches that consider the diversity of threats and their multifactorial impact. The next step should be to develop a universal mathematical model that will allow all factors of chemical, biological, radiation and nuclear threats to be taken into account in real time and create software for practical application in military management.

Keywords: chemical, biological and radiation reconnaissance, chemical, biological, radiation and nuclear threats, effectiveness of chemical, biological, radiation and nuclear protection, assessment methods, taxonomy, expert assessments, linear programming.

References

1. Meshcheriakov, I. S., Khomik, M. M., Matsko, A. V. and Nahorni, Y. I., (2022). Functioning of the CBRN defence system in the large-scale armed aggression of the RF against Ukraine. *Ukrainian Journal of Military Medicine*, 3(4), 60–66. DOI: [https://doi.org/10.46847/ujmm.2022.4\(3\)-060](https://doi.org/10.46847/ujmm.2022.4(3)-060).
2. Poplavetz, S., Huzchenko, S., Vorobiov, O., Avramenko, O. and Shumeiko, V., (2022). A possible approach to determining the rational composition of forces and means of radiation, chemical, and biological protection for performing measures in radioactive and chemical contamination conditions. *Journal of Scientific Papers «Social Development and Security»*, 12(5), 130–146. DOI: <https://doi.org/10.33445/sds.2022.12.5.12>.
3. Hutchenko, O. A., Hutchenko, K. S., Tikhonov, I. M. and Ushmarov, P. V., (2014). Development of masking tools for troop actions and facilities using aerosols [online]. *Science and Technology of the Air Forces of the Armed Forces of Ukraine*, (3), 154–157. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nitps_2014_3_37 (Accessed: 19 June 2025).
4. 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>.
5. Avramenko, O., Kotsiuruba, V. and Datsenko, I., (2021). Methods for assessing the effectiveness of logistical support for groupings of heterogeneous forces (troops). *Social Development and Security*, 11(6), pp.262–269. DOI: <https://doi.org/10.33445/sds.2021.11.6.20>.
6. 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.
7. Poplavetz, S., Hyshko, H., Kushpeta, R., Yavtushenko, V., Kolmohorov, O., Shamrai, N. and Tretiak, D., (2021). Justification of indicators and criteria for forming a rational structure of the radiation, chemical, biological protection system. *InterConf*, 448–460. DOI: <https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.03.2021.039>.
8. Matvieiev, H. A., Kazmirchuk, R. V., Khom'iak, K. M. et al., 2019. *Radiation, chemical, and biological protection of units: visual manual*. Lviv: National Army Academy.
9. *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).

Рукопис надійшов до редакції 21.05.2025
 Рукопис прийнято до друку після рецензування 18.08.2025
 Дата публікації 29.08.2025