

Удосконалена методика оцінювання ефективності функціонування системи протимінної діяльності

Improved methodology for assessing the effectiveness of mine action systems

Максим Комісаров

ад'юнкт кафедри, e-mail: maksymkomisarov72@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0103-9105

Maksym Komisarov

PhD student, e-mail: maksymkomisarov72@gmail.com, ORCID 0000-0002-0103-9105

Національний університет оборони України, м. Київ, Україна

National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Received: February 12, 2024 | Revised: February 23, 2024 | Accepted: February 29, 2024

DOI: 10.33445/sds.2024.14.1.8

Мета роботи: удосконалити методику оцінювання ефективності системи протимінної діяльності.

Метод дослідження: аналітичні, бальні методи, методи синтезу та формальної логіки.

Результати дослідження: запропонована удосконалена методика є основою науково-методичного апарату для комплексного оцінювання ефективності функціонування системи протимінної діяльності, а також обґрунтування на його основі практичних рекомендацій щодо підвищення ефективності функціонування системи ПМД, у яких комплексно урахуватимуться особливості умов виконання заходів протимінної діяльності (зокрема, пріоритетності завдань розмінування та складності їх виконання)

Теоретична цінність дослідження: аналіз впливу деяких факторів на протимінну діяльність в Україні та запропонований методичний підхід оцінки ефективності системи ПМД дозволить більш якісно виконувати заходи ПМД в державі.

Тип статті: теоретичний.

Ключові слова: вибухонебезпечні предмети, протимінна діяльність, розмінування, мінна обстановка, цивільна безпека, екологія, надзвичайна ситуація, ефективність функціонування системи, ефективність.

Purpose: is to improve the methodology for assessing the effectiveness of the mine action system.

Method: analytical, ball methods, methods of synthesis and formal logic.

Findings: The proposed improved methodology is the basis of the scientific and methodological apparatus for the comprehensive assessment of the effectiveness of the mine action system, as well as the justification based on it of practical recommendations for increasing the effectiveness of the PMD system, which will comprehensively take into account the peculiarities of the conditions for the implementation of mine action activities (in particular, the priority of demining tasks and the complexity of their implementation).

Theoretical implications: the analysis of the impact of some factors on mine action in Ukraine and the proposed methodical approach to assessing the effectiveness of the PMD system will allow better implementation of PMD measures in the state.

Paper type: theoretical.

Key words: explosive objects, mine action, demining, mine situation, civil safety, ecology, emergency situation, effectiveness of system functioning, efficiency.

Вступ

У статті розглядається удосконалена методика оцінювання ефективності функціонування системи протимінної діяльності, яка базується на сукупності показників ефективності функціонування системи ПМД та містить низку часткових методик, за допомогою яких визначаються: пріоритетність районів, у яких необхідно здійснювати першочергові заходи розмінування; уточнена площа району, що підлягає розмінуванню; часові показники заходів ПМД.

Теоретичні основи дослідження

За час повномасштабної збройної агресії російської федерації проти України значна частина територій України зазнала забруднення вибухонебезпечними предметами.

Так на деокупованих територіях секретаріатом Національного органу з питань протимінної діяльності зафіксовано 593 інциденти, у яких постраждали 877 цивільних осіб, з них загинуло 277 осіб та 600 осіб дістали поранення. Найбільш забрудненими ВВП є території

Миколаївської, Херсонської та Харківської областей, де сумарно сталося понад 50% всіх цих інцидентів” [3].

Територія України, яка забруднена вибухонебезпечними предметами, наразі складає 156 тис. км², тобто близько 25% від загальної площі держави [1].

В умовах війни через забруднення територій ВВП загострюються проблемні питання, пов’язані з екологією. За час повномасштабного вторгнення російська федерація вчинила в Україні понад 2,5 тис. злочинів проти довкілля. Про це заявив міністр захисту довкілля та природних ресурсів України Руслан Стрілець на Міжнародній конференції “United for justice. United for nature”. Станом на 20 жовтня 2023 року сума збитків уже сягнула 55 млрд євро [2].

Необхідно враховувати, що до складу вибухових речовин, що використовуються у виробництві інженерних та артилерійських боєприпасів, входять різні хімічні елементи. Серед них, наприклад, такі як азот, сірка, вуглець, фосфор, свинець, ртуть та інші. При пошкодженні корпусів (оболонок) ВВП, їх фрагментації через механічні пошкодження або корозію можуть потрапляти до ґрунту та води й утворювати різноманітні сполуки у вигляді твердих частинок, рідин чи газів. Деякі з цих сполук можуть бути токсичними, що становить загрозу для довкілля та здоров’я людини. Ці сполуки можуть накопичуватися у ґрунті та воді, а також у тканинах рослин та тварин, згодом викликаючи отруєння, порушення нервової системи, безпліддя та інші захворювання в людей.

Отже виникає необхідність більш якісного реагування на надзвичайні ситуації пов’язані з вибухонебезпечними предметами шляхом ефективного виконання заходів ПМД для забезпечення цивільної безпеки населення держави.

Постановка проблеми

Питанням організації та виконання завдань з ліквідації надзвичайних ситуацій пов’язаних вибухонебезпечними предметами присвячено ряд досліджень і публікацій [7, 9, 11]. Наприклад у [11] визначена необхідність пошуку та впровадження нових підходів до виконання завдань ПМД, що пов’язано із складною мінною обстановкою, яка склалась в ході повномасштабної агресії росії проти України. У [11] проведено аналіз впливу деяких факторів на протимінну діяльність в Україні та запропоновано методичний підхід до визначення внеску цих евристично згрупованих факторів в ефективність заходів ПМД. Структурна схема методики оцінювання ефективності подібних заходів викладена у [7]. Проте в зазначених роботах закладені лише методичні прийоми, які можуть бути використані в процесі оцінювання ефективності функціонування системи ПМД в межах визначеної зони (району). У той же час отримані оцінки ефективності є лише вихідними даними для формування рекомендацій щодо підвищення такої ефективності. З урахуванням зазначеного обрана тема статті є актуальною.

Результати

Розглянемо формулювання загальної постановки завдання у вербальному вигляді.

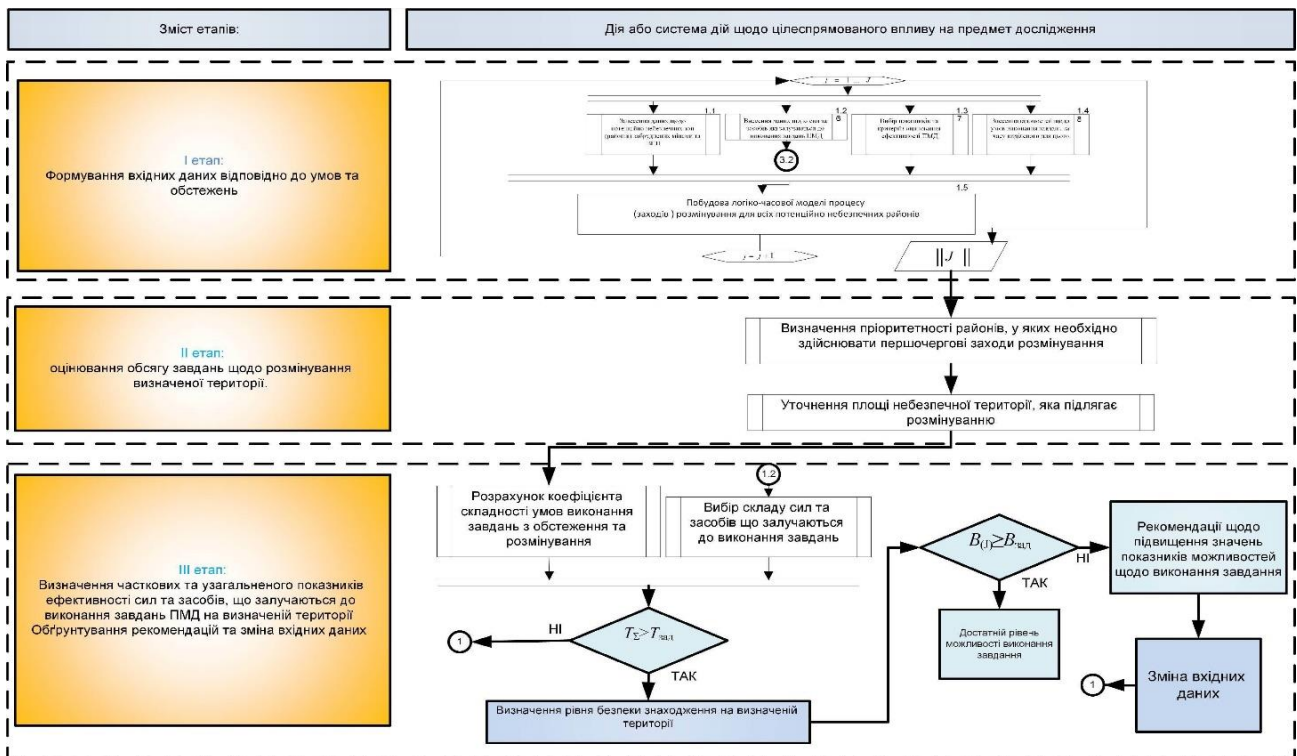
Необхідно оцінити ефективність функціонування системи ПМД, яка забезпечується визначеним складом спеціальних сил і засобів у визначеному районі (ділянці місцевості), що попередньо вважаються потенційно небезпечними (забрудненими мінами та вибухонебезпечними предметами). Для визначення цих завдань доцільно скористатись загальним підходом, за яким оцінюється ситуація (включає оцінку противника, своїх підрозділів, місцевості, стану погоди, пори року, а також інших факторів, які впливають на виконання завдання). При цьому роль “противника” у нашому випадку покладається на “зовнішнє середовище”, тобто стан забрудненості ВВП потенційно небезпечних районів, у яких здійснюватимуться заходи ПМД.

Оскільки система ПМД представляє собою комплекс заходів, спрямованих на

зменшення соціального, економічного та екологічного впливу вибухонебезпечних предметів (мін та ВЗВ) на життя та діяльність населення, а також зниження ризиків до рівня, коли люди можуть жити безпечно без обмежень, пропонується ввести такі групи показників оцінювання ефективності протимінної діяльності [9]:

- ступінь ризику людських втрат від мін, ВНП (R , $R \in [0; 1]$) на визначеній території (s);
- рівень безпеки знаходження на визначеній території (B , $B \in [0; 1]$);
- абсолютне (Δ_M) та відносне (δ_M) зменшення людських втрат на визначеній території у період виконання заходів ПМД;
- ступінь відносного зменшення площі небезпечної території за рахунок виконання заходів ПМД (δ_s).

Структурна схема методики, яка наведена на рисунку 1, передбачає розв’язання завдання оцінювання ефективності системи ПМД за трьома пов’язаними етапами.



Рисунку 1 – Методика оцінювання ефективності системи протимінної діяльності

Перший етап методики є підготовчим. Він передбачає формування вихідних даних, а також низку умов і обмежень. На цьому етапі, структура та зміст якого наведено на рисунку 2, у першу чергу формуються вихідні дані, умови та обмеження.

У блоці 1.1 формуються дані щодо потенційно небезпечної зони (району), забрудненої мінами та вибухонебезпечними предметами:

N – вихідна кількість районів, потенційно забруднених мінами або ВНП, од (j – номер району, $j \in [1; N]$);

$n_{\text{пр}(j)}$ – кількість у кожному з r -районів промислових об’єктів, од;

s_j – площа земель сільськогосподарської діяльності у кожному з j – айонів, км²;

g_j – густина заселеності місцевості у кожному з j – районів, осіб/км²;

l_j – густина транспортної мережі у кожному з j – районів, км/км²;

ω_j – обсяги людських втрат від мін та ВНП за певний період часу у кожному з j -районів, осіб/од. часу.

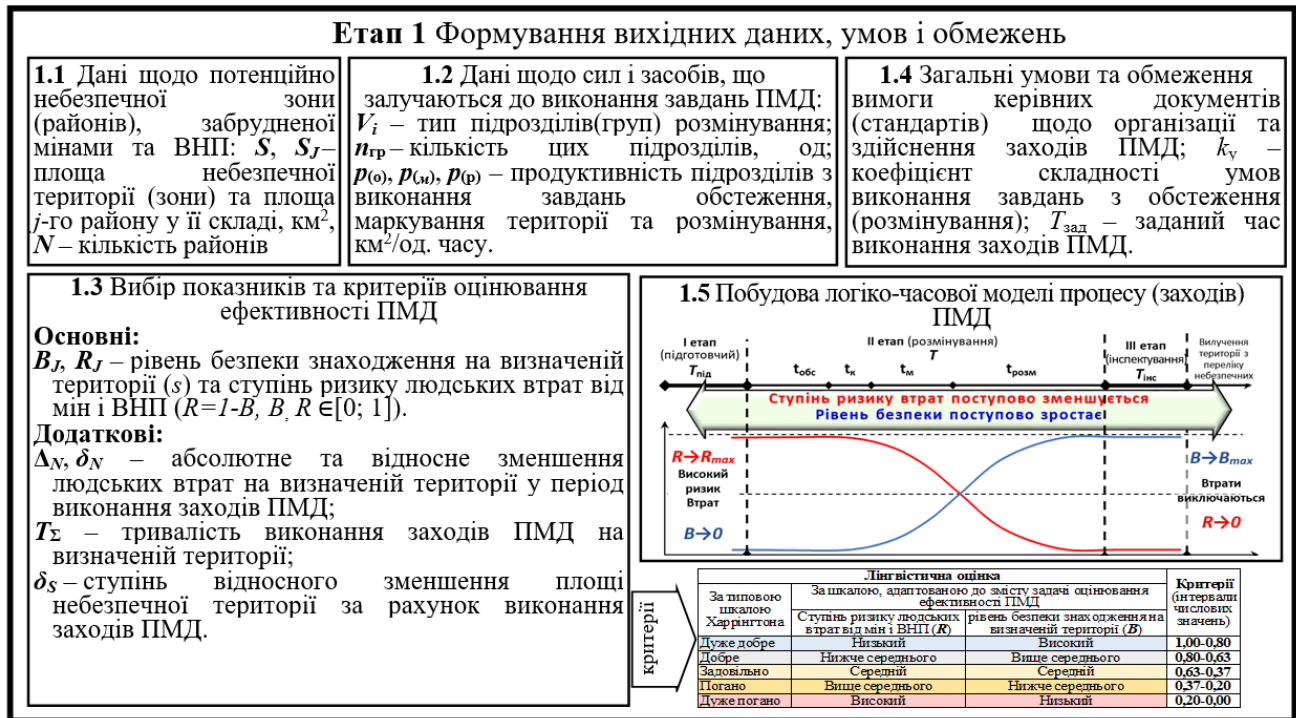


Рисунок 2 – Порядок формування вихідних даних, умов і обмежень

у блоці 1.2 формуються дані щодо сил і засобів, що залучаються до виконання завдань ПМД у заданому районі:

V_i – типи підрозділів, що залучаються до виконання завдань ПМД;

$n_{гр}, p_{(o)}, p_{(m)}, p_{(p)}$ – кількість груп (підрозділів) розмінування та відповідно їх продуктивність з виконання завдань обстеження території, її маркування та розмінування, км²/од. часу (продуктивність з обстеження території та її розмінування, розмінування залежить від кількості персоналу та її оснащення, а продуктивність з маркування території – від категорії (рівня) маркування (тимчасового, напівпостійного або постійного), які відрізняються трудомісткістю та обсягом робіт).

Крім того, на першому етапі здійснюється:

у блоці 1.3 – вибір (уточнення) показників і критеріїв оцінювання ефективності ПМД.

у блоці 1.4 – формування загальних умов та обмежень.

Цей блок є важливим елементом вихідних даних для подальшого формування моделі процесу (заходів) ПМД та подальших етапів методики для розв’язання задачі оцінювання ефективності основних заходів протимінної діяльності. Умови та обмеження разом із наведеними вище загальними вимогами до показників ефективності дозволяють сформувати обрис подальших дій з виключенням зайвих (надмірних) етапів, завдань і факторів, що сприятиме уникненню невиправданого ускладнення методики.

Розглянемо більш детально умови та обмеження:

1. Оскільки повний перелік заходів протимінної діяльності за змістом і обсягом завдань виходить за межі повноважень та можливостей Збройних Сил, усі п’ять видів діяльності (операцій, пов’язаних із розмінуванням) не розглядаються.

2. У методиці передбачається оцінювання ефективності основного виду діяльності – розмінування в гуманітарних цілях, яке є найбільш впливовим. Інші види діяльності, які передбачені у [10] (навчання ризикам, пов’язаним з мінами або ВВП; надання допомоги постраждалим, у тому числі реабілітацію та реінтеграцію жертв мін або ВВП; знищення запасів; ведення інформаційної пропаганди щодо заборони протипіхотних мін) є безумовно важливими. Проте час їх проведення може бути доволі тривалим, а самі заходи слабо

піддаються математичній формалізації. Тому приймається, що зазначені заходи виконуються безумовно і в подальшому в методиці не розглядаються.

3. Діяльність щодо розмінування територій планується та проводиться на підконтрольній території в умовах відсутності вогневого впливу з боку противника. Заходи нетехнічного обслідування територій також вважаються виконаними.

4. Заходи ПМД виконуються у часі послідовно за трьома типовими етапами:

Етап 1 – “підготовчий”. Виконуються усі підготовчі заходи, необхідні для початку розмінування на визначеній території;

Етап 2 – “розмінування”. Передбачає проведення всіх заходів, які безпосередньо здійснюються у процесі розмінування (обстеження визначеної території (пошук мін та ВВП), складання карт відповідних територій і їх маркування, розмінування визначеної території);

Етап 3 – “інспектування”. Передбачає проведення зовнішнього контролю якості розмінування силами акредитованих органів із інспектування.

5. Припускається, що у результаті виконання заходів ПМД ступінь ризику людських втрат від мін і ВВП (R) на визначеній території та рівень безпеки знаходження на цій території (B) змінюються монотонно. Загалом для опису цих параметрів можуть бути використані лінійна функція, частково лінійна Z-подібна або S-подібна функція приналежності, які наприклад характерні для опису нечітких процесів у математичному апараті нечіткої логіки [4,6]. Проте у методиці пропонується використовувати не лінійну функцію залежності, а функцію із монотонною зміною параметрів R і B , що більше відповідає реальним процесам, більшість з яких у реальних умовах є нелінійними.

З урахуванням зазначеного та на підставі аналізу керівних документів, якими визначений зміст та послідовність заходів розмінування, обраної системи показників ефективності ПМД (блок 1.4) на етапі I (у блоці 1.5) формується узагальнена логіко-часова модель процесу (заходів) ПМД, яка наведена на рисунку 3 [14].

У методиці обрана модель, яка за формою наближена до сігмоїди – безперервної монотонної нелінійної S-подібної кривої, яка на практиці часто застосовується для згладжування значень певної величини [6].

Зазначена крива за формою наближена до графіка логістичної функції, яка використовується у багатьох галузях знань (статистика, економіка, демографія, фінанси, біологія, епідеміологія, штучні нейронні мережі, підготовка військ тощо) [13,14] з метою врахування нелінійності відповідних перехідних процесів з двома крайніми станами. Її загальний вигляд описується логістичним виразом (рівнянням Ферхюльста) виду

$$P(t) = 1/(1 + \exp(-t)), \quad (1)$$

який моделює криву зростання ймовірності певної події при зміні певних управляючих параметрів (факторів ризику) у часі t . Початкова стадія зростання логістичної функції приблизно відповідає експоненті (показова функція). Після цього, по мірі насичення, зростання уповільнюється та переходить у лінійну фазу.

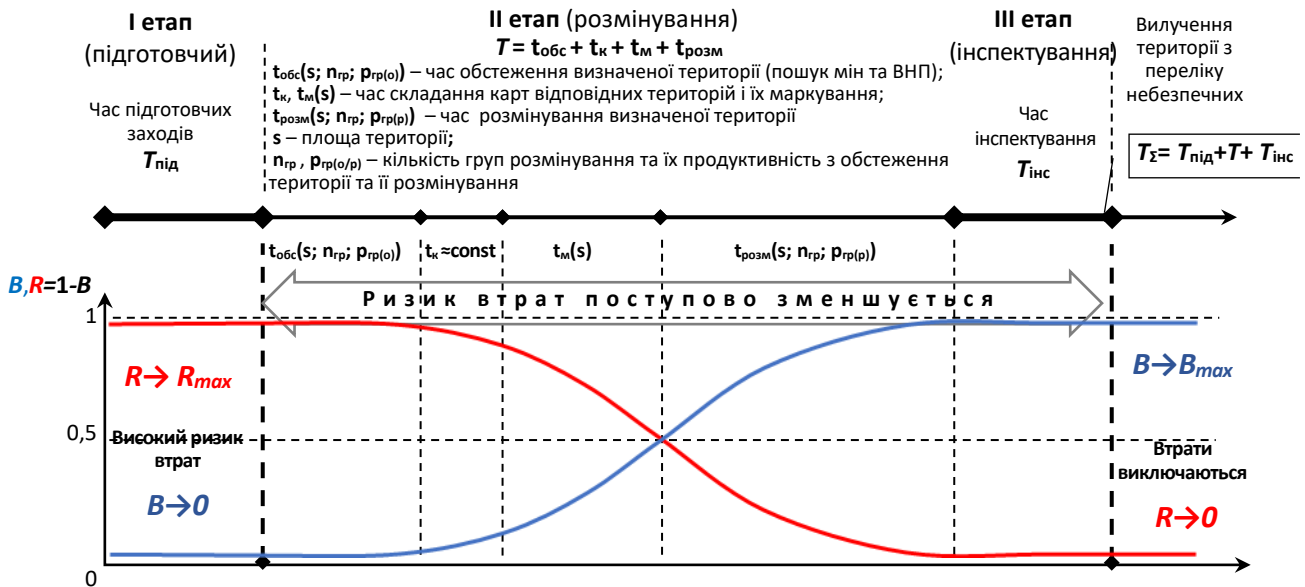


Рисунок 3 – Узагальнена логіко-часова модель процесу (заходів протимінної діяльності) [7]

Зазначені властивості логістичної функції не суперечать обраним у методиці основним етапам ПМД. Зокрема, доцільність використання подібної моделі у методиці пояснюється такими міркуваннями:

а) етап 1 логіко-часової моделі (рисунок 3) передбачає проведення підготовчих заходів (у тому числі уточнення площі районів ПНТ (ПоНР) за результатами нетехнічного та технічного обстеження). Практика свідчить, що на цьому етапі, коли фактичне розмінування ще не розпочалось, ступінь ризику людських втрат від мін і ВВП лишатиметься незмінно високою ($R \rightarrow 1$), а рівень безпеки знаходження на визначеній території малим ($B \rightarrow 0$), адже зовнішні прояви заходів ПМД на цьому етапі не є достатньо очевидними;

б) етап 2 логіко-часової моделі безпосередньо пов'язаний із процесом розмінування і передбачає виконання заходів щодо обстеження визначеної території (пошук мін та ВВП), складання відповідних карт, маркування місцевості та безпосередньо розмінування. На цьому етапі прояви заходів ПМД є більш наочними, адже вводяться певні обмеження, проводяться заходи з пошуку мін, маркування території тощо. Обмеження призводять до поступового зростання рівня безпеки та зниження ступеня ризику людських втрат. Ключовою точкою приймається завершення заходів маркування місцевості ($R=B=0,5$), а після завершення розмінування можна вважати, що $B \rightarrow 1$, а ризик зменшуватиметься до мінімального значення ($R \rightarrow R_{\text{min}}$). Отже, ступінь ризику людських втрат від мін і ВВП поступово зменшуватиметься, а рівень безпеки знаходження на визначеній території – збільшуватиметься. Тривалість цього етапу залежатиме від крутизни кривої, яка у свою чергу буде визначатись "виробничими потужностями" підрозділів розмінування, їх кількістю, оснащеністю та рівнем підготовленості;

в) етап 3 моделі передбачає процедури інспектування після завершення усіх заходів розмінування території з метою підтвердження її безпечності та прийняття рішення про її вилучення з переліку ПНТ (ПоНР). Отже, на цьому етапі досягнуті рівні обох показників (R і B) практично не змінюватимуться ($R \rightarrow 0$, $B \rightarrow 1$). Тобто після завершення цього етапу рівень безпеки може вважатись високим (гарантованим), а людські втрати практично виключатимуться.

На другому етапі методики здійснюється оцінювання обсягів завдань щодо розмінування визначеної території, які наведені на рисунку 4.

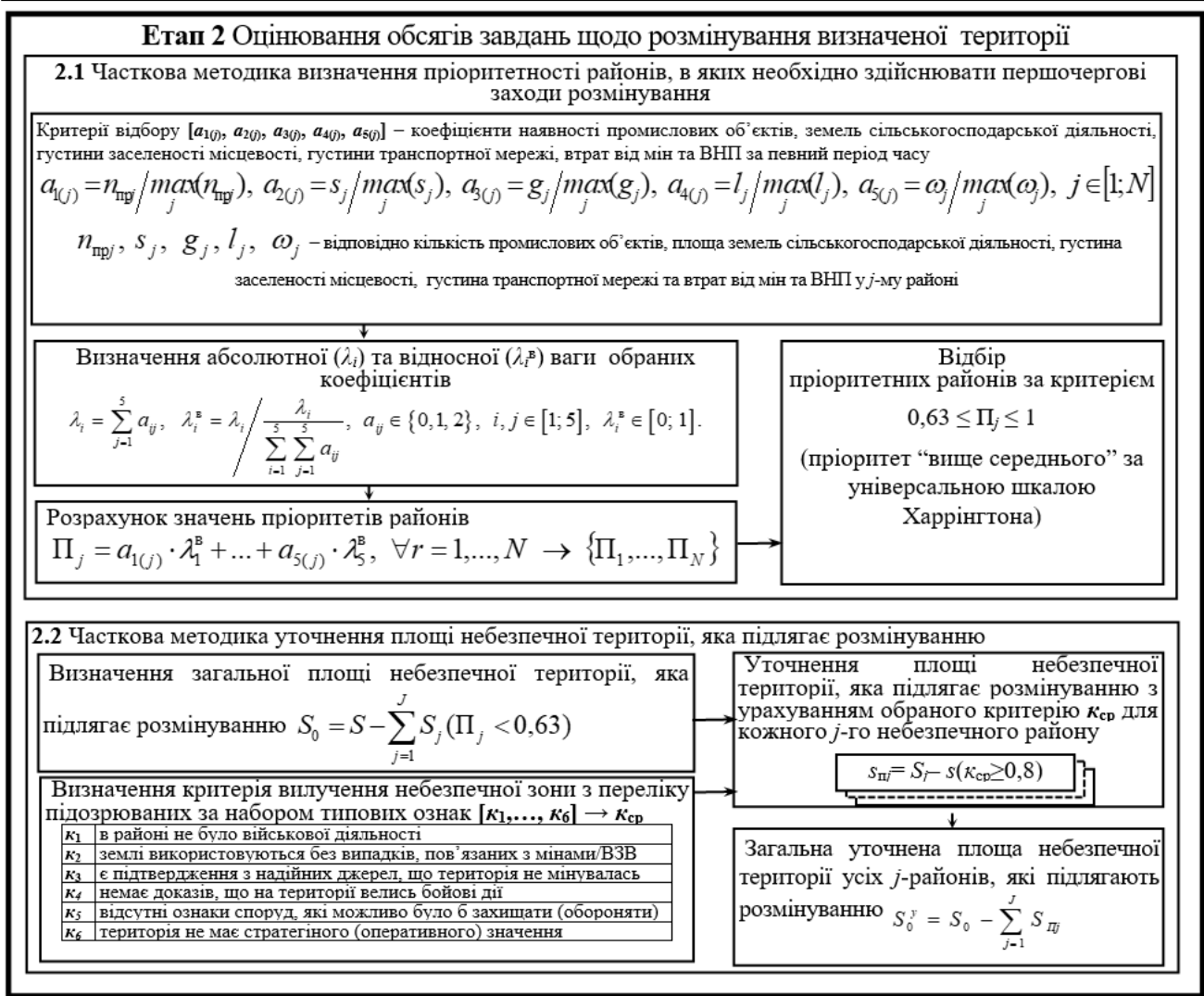


Рисунок 4 – Оцінювання обсягів завдань щодо розмінування

З цією метою у блоці 2.1 визначається пріоритетність районів, у яких необхідно здійснювати першочергові заходи розмінування. За штатними процедурами з усієї території, що потребує проведення заходів ПМД та з використанням низки критеріїв визначаються найбільш небезпечні райони.

Небезпечна територія, забруднена мінами та ВНП поділяється на відповідні N районів. У базовому варіанті за основу може бути обраний територіально-адміністративний поділ України або її окремих регіонів. Вибір пріоритетів районів пропонується здійснювати на підставі спільного урахування декількох відносних параметрів (критеріїв) $a_{1(r)}, \dots, a_{5(r)}$, зміст яких наведено у таблиці. 1.

Відносна важливість п'яти обраних параметрів (для будь-якого з N районів) визначається з використанням методу власних векторів Уея [8], заснованого на матриці парних порівнянь:

$$A = \|a_{ij}\|, a_{ij} \in \{0, 1, 2\}, i, j \in [1; 5], \tag{2}$$

Таблиця 1 – Параметри (критерії) визначення пріоритетність районів, у яких необхідно здійснювати першочергові заходи розмінування

Позначення	Зміст параметра (критерія) та порядок його розрахунку
$a_{1(j)}$	коефіцієнт наявності у j -районі промислових об'єктів, який характеризує відношення кількості таких об'єктів ($n_{пр}$) у цьому районі (одному з N районів) до значення їх кількості у районі, де вона є максимальною ($n_{пр \max}$) $a_{1(j)} = n_{прj} / \max_j(n_{прj}), j = 1, \dots, N.$
$a_{2(j)}$	коефіцієнт наявності у j -районі об'єктів (земель сільськогосподарської діяльності), який характеризує відношення площі цих земель (s) у цьому районі до подібної площі району, у якому вона є найбільшою (s_{\max}) $a_{2(j)} = s_j / \max_j(s_j), j = 1, \dots, N.$
$a_{3(j)}$	коефіцієнт густини заселеності місцевості у j -районі, який характеризує відношення густини заселеності (g , осіб/км ²) у певному районі до подібного показника району, у якому він є максимальним (g_{\max}) $a_{3(j)} = g_j / \max_j(g_j), j = 1, \dots, N.$
$a_{4(j)}$	коефіцієнта густини транспортної мережі у j -районі, який характеризує відношення її густини (l , км/км ²) у певному районі до подібного показника району, у якому він є максимальним $a_{4(j)} = l_j / \max_j(l_j), j = 1, \dots, N.$
$a_{5(j)}$	коефіцієнта людських втрат від мін та ВВП за певний період (осіб/од. часу) у j -районі який визначається за подібною логікою $a_{5(j)} = \omega_j / \max_j(\omega_j), j = 1, \dots, N.$

де $a_{ij}=0$ означає перевагу j -го параметру над i -им параметром, $a_{ij}=1$ – рівнозначність порівнюваних параметрів, $a_{ij}=2$ – перевагу i -го параметру над j -им параметром. Для обраних п'яти параметрів вираз (2) матиме вигляд матриці:

$$A = \begin{pmatrix} a_i \setminus a_j & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ 1 & 1 & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} \\ 2 & a_{21} & 1 & a_{23} & a_{24} & a_{25} \\ 3 & a_{31} & a_{32} & 1 & a_{34} & a_{35} \\ 4 & a_{41} & a_{42} & a_{43} & 1 & a_{45} \\ 5 & a_{51} & a_{52} & a_{53} & a_{54} & 1 \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Відповідно до методу власних векторів Уея після заповнення матриці у кожному рядку знаходиться сума значень параметрів a_{ij} (абсолютне цілочисельне значення ваги кожного з п'яти критеріїв)

$$\lambda_i = \sum_{j=1}^5 a_{ij}, \lambda_i \in Z \rightarrow \left\{ \lambda_1 = \sum_{j=1}^5 a_{1j}; \dots; \lambda_5 = \sum_{j=1}^5 a_{5j}; \right\}, \quad (4)$$

а також визначаються відносна вага обраних коефіцієнтів

$$\lambda_i^B = \frac{\lambda_i}{\sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^5 a_{ij}}, \lambda_i^B \in [0; 1] \quad (5)$$

У результаті отримується набір значень відносних вагових коефіцієнтів $\{\lambda_1^g, \dots, \lambda_5^g\}$ для відповідних параметрів $(a_{1(j)}, \dots, a_{5(j)})$. З урахуванням отриманих вище значень цих параметрів для кожного з N районів визначаються чисельні значення пріоритетів районів, у яких необхідно здійснювати першочергові заходи розмінування:

$$P_j = a_{1(j)} \cdot \lambda_1^g + \dots + a_{5(j)} \cdot \lambda_5^g, \forall j = 1, \dots, N \rightarrow \{P_1, \dots, P_N\} \quad (6)$$

З метою усунення неоднозначності отриманих значень пріоритетів (що пов'язано з використанням різних шкал для визначення параметрів $a_{1-5(j)}$ та λ_i) необхідно попередньо привести значення коефіцієнтів $k_{i(1, \dots, N)}$ до єдиної шкали вимірювання ($0 \leq k_{i(1, \dots, N)} \leq 10$) шляхом множення на 10 та подальшим нормуванням отриманих добутків. За цієї умови значення пріоритетів районів буде знаходитись у межах $0 \leq P_{(1, \dots, N)} \leq 1$, що дозволить їх порівнювати за єдиною відносною шкалою від 0 до 1.

Відбір пріоритетних районів з множини значень $\{P_1, \dots, P_N\}$ здійснюється за допомогою універсальної дискретної вербально-числової шкали Харрінгтона, яка зазвичай використовується для оцінювання різних якісних показників [5]. Відповідно до чисельних значень інтервалів цієї шкали приймається, що пріоритетними районами, у яких необхідно здійснювати першочергові заходи розмінування, є ті, для яких виконується умова:

$$0,63 \leq P_{(j=1, \dots, N)} \leq 1 \quad (7)$$

Оскільки можливості підрозділів ЗС України (операторів ПМД) щодо розмінування територій зазвичай є недостатніми, інші райони, для яких умова (7) не виконуються, повинні бути включені до плану заходів протимінної діяльності, як завдання другої та подальшої черги. Завдання щодо їх розмінування можуть бути делеговані іншим суб'єктам протимінної діяльності або включені до наступних черг плану ПМД.

У блоці 2.2 здійснюється уточнення (зменшення) площі небезпечної території, яка підлягатиме розмінуванню. Графічне відображення принципу уточнення зазначеної площі небезпечної території наведено на рисунку 5.

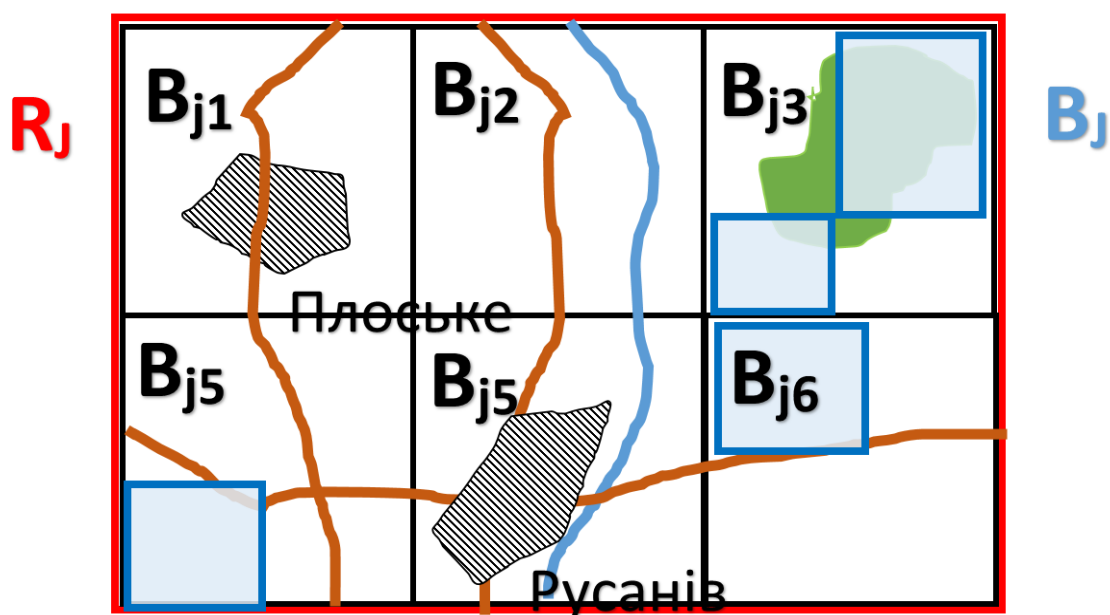


Рисунок 5. Графічне відображення принципу уточнення (зменшення) площі небезпечної території, яка підлягатиме розмінуванню

Оскільки пріоритетні райони визначені, спочатку здійснюється уточнення загальної площі небезпечної території, яка підлягатиме розмінуванню.

$$S_0 = S - \sum_{j=1}^J S_j (\Pi_j < 0,63) \quad (8)$$

де S – загальна площа небезпечної території, забрудненої мінами та ВВП, км²;
 $S_j (\Pi_j < 0,63)$ – площа району, який не є пріоритетним (тобто, для якого виконується умова $\Pi_j < 0,63$).

Після цього з урахуванням результатів оцінювання потенційних ризиків та результатів нетехнічного та технічного обстеження проводиться уточнення площі підозрюваних небезпечних територій (ПНТ) або потенційно небезпечних районів (ПоНР). Для цього в межах кожного з районів, які відповідно до умови (7) визначені як пріоритетні, здійснюється оцінювання можливості вилучення частки площі території (зони), які можуть вважатись безпечними. Критерії вилучення небезпечної зони обираються відповідно до [12]. Їх зміст наведено у таблиці 3.

Таблиця 3 – Критерії вилучення небезпечної зони

Позначення	Зміст критерія
K_1	в районі не було військової діяльності
K_2	землі будь-якого призначення використовуються без нещасних випадків, пов'язаних з мінами/вибухові залишки війни
K_3	є підтвердження з надійних джерел, що територія не мінувалась
K_4	немає доказів, що на території велись бойові дії
K_5	на території немає ознак споруд, які можливо було б захищати (обороняти)
K_6	територія не має стратегічного (тактичного) значення

Оскільки критерії (залежно від наявних вихідних даних і процесу прийняття рішення) мають ознаки можливої нечіткої інтерпретації, доцільно за правилами теорії нечіткої логіки ввести “міру впевненості” у тому, що висловлювання, які характеризують ці критерії, є істинними. Зокрема, для ідеальних умов (“повна впевненість”) значення коефіцієнта приймається $k=1$. Проте у реальних умовах за результатами оцінювання для кожного критерія може бути визначена “міра впевненості” у межах $k \in [0; 1]$. Однозначне рішення про вилучення небезпечної зони з переліку підозрюваних приймається з використанням нижньої межі верхнього інтервалу шкали Харрінгтона, який характеризує високий рівень впевненості, за таким правилом:

$$k_{cp} = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 k_i \geq 0,8. \quad (9)$$

Для кожного з обраних пріоритетних районів площею S_j з урахуванням умови (9) визначається площа підозрюваних небезпечних територій (ПоНР), яка становитиме

$$s_{nj} = S - s(k_{cp} \geq 0,8), \quad (10)$$

де $s(k_{cp} \geq 0,8)$ – частина площі r -го пріоритетного району, яка має бути виключена з підозрюваних (небезпечних).

Загальна уточнена площа небезпечної території, яка підлягатиме розмінуванню, з урахуванням умови (7) становитиме

$$S_0^y = S_0 - \sum_j s_{pij} \cdot \quad (11)$$

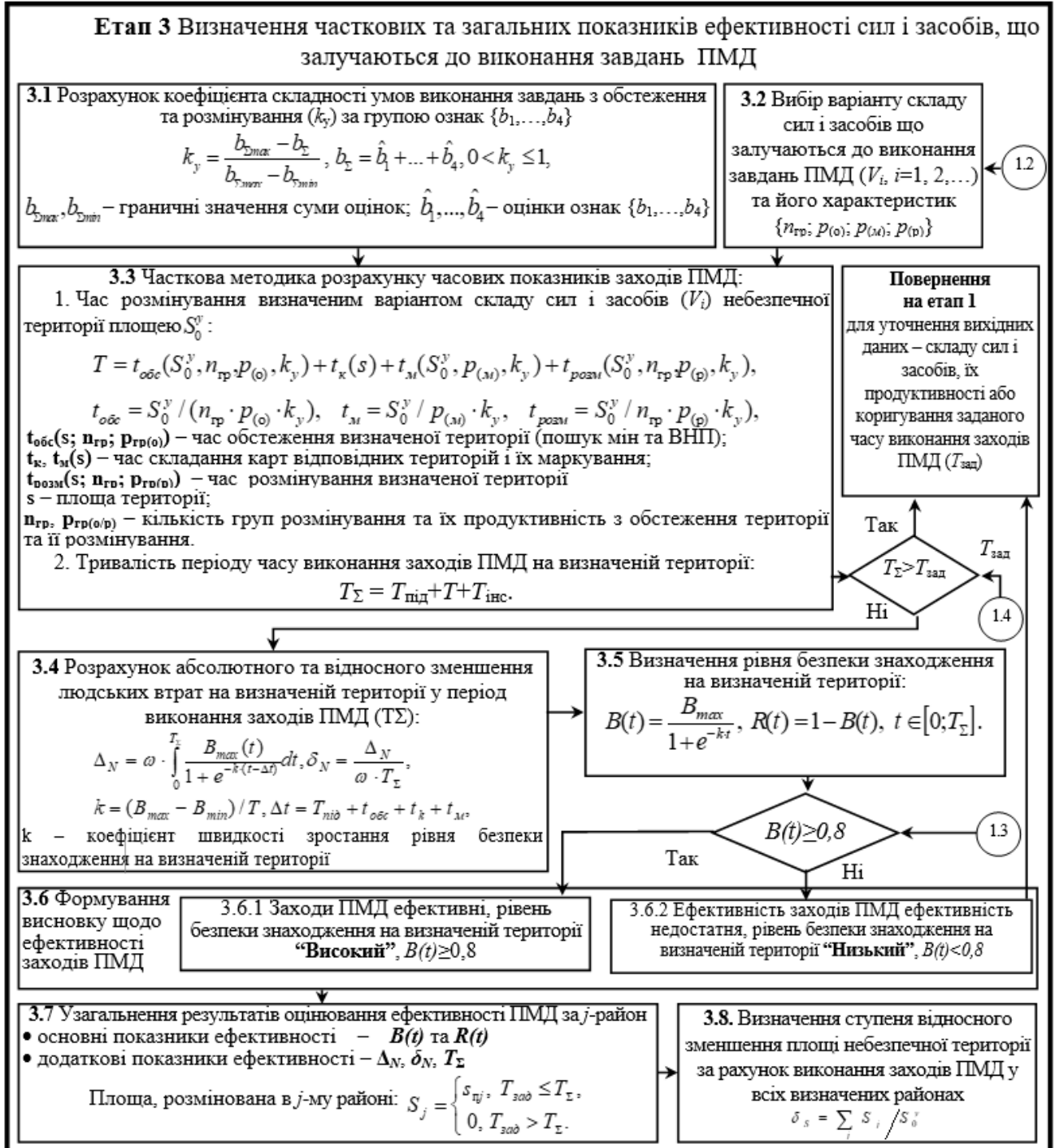


Рисунок 6 – Визначення часткових та загальних показників ефективності сил і засобів протимінної діяльності

На третьому етапі методики, який наведений на рисунку 6. здійснюється визначення часткових та загальних показників ефективності сил і засобів, що залучаються до виконання завдань протимінної діяльності.

З цією метою попередньо оцінюється складність умов їх виконання, для чого у блоці 3.1 за частковою методикою на основі бальних методів розраховується значення коефіцієнта складності умов виконання завдань з обстеження та розмінування (k_y), яке задається за результатами оцінювання ознак (тип (складність) ґрунту, наявність та щільність рослинності, тип та щільність забрудненості (мінами, ВВП, металами), погодні умови, пора року та ін.).

Значення коефіцієнта розраховується за виразом:

$$k_y = \frac{b_{\Sigma max} - b_{\Sigma}}{b_{\Sigma max} - b_{\Sigma min}}, b_{\Sigma} = \hat{b}_1 + \dots + \hat{b}_4, 0 < k_y \leq 1, \quad (12)$$

- де $b_{\Sigma max}, b_{\Sigma min}$ – граничні значення суми оцінок складності умов виконання завдань з обстеження та розмінування заданої території за обраними ознаками;
- b_{Σ} – сума балів, отриманих у результаті оцінювання заданої території за ознаками складності умов обстановки $\{b_1, \dots, b_4\}$;
- $\hat{b}_1, \dots, \hat{b}_4$ – оцінки ознак $\{b_1, \dots, b_4\}$.

Пояснення до часткової методики розрахунку коефіцієнта складності умов виконання завдань ПМД (k_y), а також зміст та характеристика ознак складності умов обстановки $\{b_1, \dots, b_4\}$ наведені у табл. 1. Обрані ознаки відповідають положенням керівних документів з організації ПМД [10,12].

У блоці 3.2 з урахуванням вихідних даних (блок 1.2) обирається варіант складу сил і засобів, що залучаються до виконання завдань ПМД (V_i) та його характеристики $\{n_{гр}; p_{(o)}; p_{(m)}; p_{(p)}\}$ (зміст зазначених характеристик наведено вище).

У блоці 3.3 здійснюється розрахунок часових показників заходів ПМД. Час розмінування визначеним складом сил і засобів (V_i) небезпечної території площею S_0^y розраховується за виразом:

$$T = t_{обс}(S_0^y, n_{гр}, p_{(o)}, k_y) + t_{к}(s) + t_{м}(S_0^y, p_{(m)}, k_y) + t_{розм}(S_0^y, n_{гр}, p_{(p)}, k_y),$$

$$t_{обс} = S_0^y / (n_{гр} \cdot p_{(o)} \cdot k_y), \quad t_{м} = S_0^y / p_{(m)} \cdot k_y, \quad t_{розм} = S_0^y / n_{гр} \cdot p_{(p)} \cdot k_y, \quad (13)$$

- де $t_{обс}(s; n_{гр}; p_{гр(o)})$ – час обстеження визначеної території (пошук мін та ВВП);
- $t_{к}, t_{м}(s)$ – відповідно час складання карт відповідних територій і їх маркування;
- $t_{розм}(s; n_{гр}; p_{гр(p)})$ – час розмінування визначеної території;
- $n_{гр}, p_{гр(o/p)}$ – кількість груп розмінування та їх продуктивність з обстеження території та її розмінування.

Також у цьому блоці розраховується тривалість період часу виконання заходів ПМД на визначеній території, який відповідно до логіко-часової моделі (див. рис. 3) становить:

$$T_{\Sigma} = T_{під} + T + T_{інс}. \quad (14)$$

Якщо це значення перевищує заданий час ($T_{\Sigma} > T_{зад}$), здійснюється уточнення вихідних даних, сформованих на першому етапі (складу сил і засобів, їх продуктивності або коригування заданого часу виконання заходів ПМД $T_{зад}$). В іншому випадку з урахуванням отриманих у блоці 3.3 часових показників заходів ПМД, а також даних щодо середньодобових людських

втрата у заданому районі (ω) у блоці 3.4 розраховуються значення абсолютного (Δ_N) та відносного (δ_N) зменшення людських втрат на визначеній території у період виконання заходів ПМД (T_Σ). Визначення цих показників здійснюється за виразами:

$$\Delta_N = N - N_{\text{пмд}}, \delta_N = \frac{N - N_{\text{пмд}}}{N}, \quad (15)$$

де N і $N_{\text{пмд}}$ – відповідно людських втрат від підривів у заданому районі за час T_Σ без урахування та з урахуванням заходів ПМД.

Оскільки відповідно до логіко-часової моделі процесу ПМД (див. блок 1.5 структурної схеми методики та рисунок 3) людські втрати поступово зменшуватимуться разом із зниженням ступеня ризику знаходження на визначеній території (R) або збільшення ступеня безпеки (B), значення Δ_N і δ_N можуть бути розраховані за такими виразами:

$$\Delta_N = \omega \cdot \int_0^{T_\Sigma} \frac{B_{\text{max}}(t)}{1 + e^{-k \cdot (t - \Delta t)}} dt, \delta_N = \frac{\Delta_N}{\omega \cdot T_\Sigma}, k = (B_{\text{max}} - B_{\text{min}})/T, \Delta t = T_{\text{під}} + t_{\text{обс}} + t_k + t_m, \quad (16)$$

де $k = (B_{\text{max}} - B_{\text{min}})/T$ – коефіцієнт швидкості (темп) зростання параметра B (рівня безпеки знаходження на визначеній території), який відбувається на етапі розмінування (рисунок 1);

$B_{\text{max}}(t)$ – максимальне значення параметра логістичної функції (зазвичай повна безпека досягається лише після завершення розмінування та вилучення території з переліку небезпечних ($B(t) \rightarrow 1$), але можна використовувати значення $0,8 \leq B_{\text{max}}(t) \leq 1$, що не суперечить наведеному у табл. 1 критеріям оцінювання підсистем ПМД на основі шкали бажаності Харрінгтона);

$\Delta t = T_{\text{під}} + t_{\text{обс}} + t_k + t_m$ – значення часу для середини логістичної функції, де виконується умова $R=B=0,5$ (поправка Δt введена з метою корекції шкали відліку логістичної функції та уникнення необхідності роботи з від'ємними значеннями часу).

У блоці 3.5 визначається рівень безпеки знаходження на визначеній території $B(t)$ та ступінь ризику людських втрат від мін і ВВП $R(t)$ для будь-якого значення часу в інтервалі $t \in [0; T_\Sigma]$:

$$B(t) = \frac{B_{\text{max}}}{1 + e^{-k \cdot t}}, R(t) = 1 - B(t), t \in [0; T_\Sigma]. \quad (17)$$

На підставі отриманих значень показників “безпеки-ризик” у блоці 3.6 формуються висновки щодо ефективності виконання заходів ПМД. Зокрема значення $B(t)$ і $R(t)$ оцінюються за п'ятиступеневою вербально-числовою шкалою критеріїв на основі шкали бажаності Харрінгтона (див. табл. 1).

За умови $B(t) \geq B_{\text{зад}}$ у блоці 3.6.1 робиться висновок про достатню ефективність виконання заходів ПМД з визначенням відповідної вербально-числової оцінки. Зазвичай, це найвища оцінка за шкалою Харрінгтона: рівень безпеки знаходження на визначеній території “Високий” ($B(t) \geq 0,8$), а ступінь ризику людських втрат від мін і ВВП “Низький” ($R(t) \leq 0,2$).

Якщо заданий рівень безпеки знаходження на визначеній території не досягається ($B(t) < B_{\text{зад}}$) або ступінь ризику людських втрат від мін і ВВП на цій території лишатиметься

занадто великим ($R(t) < R_{зад}$), робиться відповідний висновок з визначенням відповідної лінгвістичної та числової оцінки (блок 3.6.2), після чого приймається рішення про необхідності проведення додаткових заходів для підвищення ефективності заходів системи ПМД.

За умов високого (достатнього) рівня безпеки у блоці 3.7 здійснюється узагальнення результатів оцінювання ефективності ПМД з виведенням сукупності значень основних $\{B(t); R(t)\}$ та додаткових $\{\Delta_N, \delta_N, T_\Sigma\}$ показників ефективності. Також розраховується площа, яку буде розміновано в j -му небезпечному районі. Враховуючи, що часткове розмінування площі визначеного району не робить її безпечною, значення розмінованої площі визначається за виразом:

$$S_j = \begin{cases} S_{nj}, T_{зад} \leq T_\Sigma, \\ 0, T_{зад} > T_\Sigma. \end{cases} \quad (18)$$

Розрахунки, передбачені блоками 3.1–3.7 повторюються для усіх районів, які визначені як небезпечні. Після закінчення циклу розрахунків результати (у вигляді значень кількісно-якісних показників) узагальнюються за районами.

Крім того, у блоці 3.8 визначається ступінь відносного зменшення площі небезпечної території за рахунок виконання заходів ПМД (δ_s) у всіх визначених небезпечних районах:

$$\delta_s = \sum_j S_j / S_0^y, \quad (19)$$

де $\sum_j S_j$ – площа, яка може бути обстежена та розмінована за визначений час $T_{зад}$ у всіх небезпечних j -районах.

Отримані результати розрахунків, які проведені за викладеною методикою, є основою для розроблення рекомендацій щодо підвищення ефективності системи ПМД, що у загальному випадку може бути здійснено за рахунок:

підвищення можливостей сил і засобів для виконання заходів ПМД (за рахунок зміни кількісно-якісного складу підрозділів, груп, засобів тощо);

оптимізації процесу оцінювання обсягів завдань з розмінування певної території (фактично зменшення заданої площі небезпечної території, яка підлягає розмінуванню).

Висновки

Таким чином, викладена у статті удосконалена методика дозволяє оцінювати ефективність функціонування системи ПМД за сукупністю логічно пов'язаних основних та додаткових показників. Методика удосконалена за рахунок:

формалізації критеріїв відбору у частковій методиці визначення пріоритетності районів, у яких необхідно здійснювати першочергові заходи розмінування;

формалізації чинних критеріїв вилучення небезпечної зони з переліку підозрюваних, що дало змогу уточнити (зменшити) обсяги завдань щодо розмінування визначеної території;

запропонованої часткової методики розрахунку часових показників заходів ПМД, яка дозволяє точніше визначати час розмінування обраної небезпечної території з урахуванням кількості залучених сил і засобів, а також їхньої продуктивності.

Удосконалена методика є інструментом обґрунтування рекомендацій щодо підвищення ефективності функціонування системи ПМД.

Фінансування

Це дослідження не отримало конкретної фінансової підтримки.

Конкуруючі інтереси

Автори заявляють, що у них немає конкуруючих інтересів.

Список використаних джерел

1. Розмінування України: потенційно забруднена площа зменшилася до 156 тис.кв.км. Офіційний сайт Державної служби України з надзвичайних ситуацій 29.02.2024. URL: <https://dsns.gov.ua/news/ostanni-novini/rozminuvannia-ukrayini-potenciino-zabrudnena-ploshha-zmensilasia-do-156-tiskvkm>
2. В Україні зафіксували понад 2,5 тисячі злочинів проти довілля, які вчинила Росія. Укрінформ 20.10.2029. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/3776555-v-ukraini-zafiksuvali-ponad-25-tisaci-zlociniv-proti-dovkilla-aki-vcinila-rosia.html>
3. На деокупованих територіях від російських мін загинули і постраждали 877 цивільних. Укрінформ. 2023. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-regions/3799558-na-deokupovanih-teritoriah-vid-rosijskih-min-zaginuli-i-postrazdali-877-civilnih.html>
4. Бочарников В. Fuzzy Technology: математическое и программное обеспечение целевых программ в стратегическом менеджменте. Київ. Ника-центр. 2005. 260 с.
5. Волков К. С. Удосконалення розрахунків показників якості за функцією бажаності Харрінгтона. Науково-технічний журнал “Сучасний захист інформації”. №1 (2017). Київ. 2017. С.103–108.
6. Домарев, В.В. Безопасность информационных технологий. Методология создания систем защиты информации (Второе изд.). К.: ООО “ТИД ДС”, 2002. – 688 с.
7. Комісаров М.В., Підгородецький М.М. Методика оцінювання ефективності виконання заходів протимінної діяльності. URL: <http://sit.nuou.org.ua/article/view/256638>
8. Методы получения оценок альтернатив и критериев на основе результатов парных сравнений. URL: <https://helpiks.org/3-61477.html>
9. Передрій О.В., Комісаров М.В. Порядок оцінювання ефективності заходів протимінної діяльності у Збройних Силах України. Збірник наукових праць ЦНДІ ЗС України. Київ, 2021. №4(99), С.70-80.
10. Про протимінну діяльність в Україні : Закон України від 6 грудня 2018 року № 2642-VIII (зі змінами).
11. Протимінна діяльність в Україні потребує нових підходів. Офіційний сайт 112.UA : веб-сайт. URL: <https://ua.112.ua/suspilstvo/protyminna-diialnist-v-ukraini-potrebuie-novykh-pidkhodiv-mintot-390493.html>.
12. Протимінна діяльність. Процеси управління. Основні положення: ДСТУ-П 8820:2018. Київ. 2019. 84 с.
13. Статистичне моделювання та прогнозування: Бібліотека підручників та статей Posibniki (2022) URL: <https://posibniki.com.ua/catalog-statistichne-modeluvannya-ta-prognozuvannya>.
14. Фостер Р. Логистическая S-образная кривая и прогнозы кризисов. URL: <http://ibcm.biz> (дата звернення 19.06.2023).

References

1. The dissolution of Ukraine: the potentially obstructed area has changed to 156 thousand sq. km. Official website of the State Service of Ukraine for emergency situations 29.02.2024

- Available from : <https://dsns.gov.ua/news/ostanni-novini/rozminuvannia-ukrayini-potenciino-zabrudnena-ploshha-zmensilasia-do-156-tiskvkm>.
2. In Ukraine, over 2.5 thousand crimes against Dovkill were recorded, which were committed by Russia. Ukrinform 20.10.2029. Available from : <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/3776555-v-ukraini-zafiksuvali-ponad-25-tisaci-zlociniv-proti-dovkilla-aki-vcinilarosia.html>.
 3. In the deoccupied territories, 877 civilians died and were injured due to Russian mines. Ukrinform. 2023. Available from : <https://www.ukrinform.ua/rubric-regions/3799558-na-deokupovanih-teritoriah-vid-rosijskih-min-zaginuli-i-postrazdali-877-civilnih.html>.
 4. Bocharnikov, V. Fuzzy Technology: mathematical and software support of target programs in strategic management. Kyiv. Nika-center. 2005. 260 p.
 5. Volkov, K. S. Improvement of calculations of quality indicators according to Harrington's desirability function. *Modern information protection*. No. 1 (2017). Kyiv. 2017. P.103–108.
 6. Domarev, V.V. Security of information technologies. Methodology of creating information protection systems (Second ed.). Kyiv: LLC "TYD DS", 2002. 688 p.
 7. Komisarov M.V., Pidhorodetskyi M.M. Methodology for assessing the effectiveness of mine action activities. Available from : <http://sit.nuou.org.ua/article/view/256638>.
 8. Methods of obtaining estimates of alternatives and criteria based on the results of pairwise comparisons. Available from : <https://helpiks.org/3-61477.html>.
 9. Peredrii O.V., Komisarov M.V. (2021). Procedure for assessing the effectiveness of mine countermeasures in the Armed Forces of Ukraine. *A collection of scientific works of the Central Research Institute of the Armed Forces of Ukraine*. Kyiv, 2021. No. 4(99), pp. 70-80.
 10. On mine action in Ukraine: Law of Ukraine dated December 6, 2018 No. 2642-VIII (as amended).
 11. Mine action in Ukraine needs new approaches. Official site 112.UA: website. Available from : <https://ua.112.ua/suspilstvo/protyminna-diialnist-v-ukraini-potrebuie-novykh-pidkhodiv-mintot-390493.html>.
 12. Anti-mine activity. Management processes. Main provisions: DSTU-P 8820:2018. Kyiv. 2019. 84 p.
 13. Statistical modeling and forecasting: Posibniki library of textbooks and articles (2022). Available from : <https://posibniki.com.ua/catalog-statistichne-modeluvannya-ta-prognozuvannya>.
 14. Foster R. Logistic S-shaped curve and crisis forecasts. Available from : <http://ibcm.biz> (access date 06/19/2023).