

УДК 351.861

МЕТОДИКА ОБҐРУНТУВАННЯ ОПЕРАТИВНО-ТЕХНІЧНИХ РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО СКОРОЧЕННЯ ЧАСУ ПІДВОДНОГО РОЗМІНУВАННЯ ВОДОЛАЗАМИ-САПЕРАМИ ДЕРЖАВНОЇ СЛУЖБИ УКРАЇНИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

<https://doi.org/10.33269/nvcz.2022.2.108-121>

Соловійов І. І.^{1*}, ORCID iD 0000-0002-0400-6704
Стрілець В. М.², ORCID iD 0000-0001-5992-1195
Бляшенко О. В.³, ORCID iD 0000-0003-1500-0487
Серватюк В. М.⁴, ORCID iD 0000-0002-6444-1425
Прусський А. В.⁵, ORCID iD 0000-0002-9132-7070

*E-mail: vstrelec1956@ukr.net

¹Аварійно-рятувального загону спеціального призначення Головного управління ДСНС України у Херсонській області, Україна

²Національний університет цивільного захисту України, Україна

³Міністерство оборони України, Україна

⁴Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Інститут державного військового управління, Україна

⁵Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту, Україна

ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ

Надійшла до редакції: 09.11.2022

Пройшла рецензування: 14.11.2022

КЛЮЧОВІ СЛОВА:

підводне розмінування, водолаз-сапер, експертні оцінки, багатофакторна модель, методика

АНОТАЦІЯ

Згідно з аналізом важливою та нерозв'язаною частиною проблеми підвищення ефективності попередження надзвичайних ситуацій, пов'язаних із підводним розташуванням вибухонебезпечних предметів, є відсутність методики обґрунтування оперативно-технічних рекомендацій щодо скорочення часу підводного розмінування водолазами-саперами ДСНС України без зниження рівня безпеки особового складу. Застосування системного ергономічного аналізу для представлення діяльності водолаза-сапера у вигляді функціонування системи «водолаз-сапер – технічне забезпечення підводного розмінування – підводне розташування вибухонебезпечного предмета», статистичних методів планування експериментальних досліджень та обробки отриманих результатів, а також математико-статистичних методів безпосередніх експертних оцінок дало змогу розробити методику, основу якої складає багатофакторна математична модель підводного розмінування водолазами-саперами ДСНС України. Методика являє собою сукупність таких послідовних дій: вибір варіантів оперативної діяльності (виділені такі значущі фактори, як рівень підготовленості водолаза-сапера; умови підводного середовища, в яких працює особовий склад; рівень їх оснащеності); безпосередня експертна оцінка часу виконання вибраних варіантів відповідно до плану 3x3x2 з урахуванням узгодженості експертів; визначення параметрів моделей підводного розмінування за допомогою стандартних формул теорії планування експериментів та перевірка їх достовірності через порівняння того, наскільки натурні результати, отримані в умовах, які відповідають конкретній комбінації вибраних факторів, укладаються в довірчі інтервали, що розраховані з надійністю 0,95 за результатами застосування багатофакторних математичних моделей підводного розмінування з конкретними параметрами; аналіз та спрощення моделей з подальшим ранжуванням факторів як в центрі факторного простору, так і на його краях; обґрунтування рекомендацій, які мають оперативно-технічний характер, оскільки вибрані фактори характеризували як оперативну (роботу особового складу в умовах впливу навколишнього середовища), так і технічну складові процесу підводного розмінування та їх упродовження.

Постановка проблеми. Проблема розмінування водних акваторій є надзвичайно важливою в усьому світі, оскільки на сьогодні близько 15% із 70 мільйонів мін, які потребують свого розмінування, встановлені на мілководних ділянках внутрішніх водоймищ [1]. У нашій країні її актуальність посилюється як значною кількістю залишків вибухонебезпечних предметів Другої світової війни у водах Чорного та Азовського морів [2], так і наслідками агресії росії.

Щодо ліквідації надзвичайних ситуацій (далі – НС), пов'язаних із вибухонебезпечними предметами, що знаходяться на суходолі, накопичено значний досвід [3]. Проте подальших досліджень потребують питання підвищення ефективності попередження надзвичайних ситуацій, пов'язаних із підводним розташуванням вибухонебезпечних предметів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У документах Балтійської ради з безпеки боєприпасів [4], які спільно із США були конкретизовані в Міжнародному стандарті IMAS 09.60 «Підводна розвідка та знешкодження вибухових речовин» [5] підкреслено особливу роль водолазів-саперів. Водночас питання підвищення ефективності їх діяльності з урахуванням факторів, які характеризують людину, водне середовище, а також технічні засоби забезпечення підводного розмінування, не розглядалися. Не розглядалися вони і в Стандартній оперативній процедурі гуманітарного підводного розмінування [6], де основна увага приділяється підготовці особового складу.

У більшості публікацій, зокрема у [7], розглядаються конкретні випадки та надається їх аналіз, або аналізуються результати обстеження конкретних підводних об'єктів [8–10], проблеми підвищення інформування піротехнічних підрозділів [11], оцінюється можливий ризик [12]. Окремо виділяються питання, що пов'язані із підготовкою та здоров'ям водолазів-саперів [13–15].

Хоча сучасною перспективою попередження НС, пов'язаних із підводним розташуванням вибухонебезпечних предметів, є застосування принципів «не підривати» [16] та перехід на реалізацію можливостей підводних роботів [17], проте без участі спеціально підготовлених водолазів-саперів [18] не обійтись. Організація їх діяльності потребує урахування як можливостей особового складу, так і умов, у яких вони будуть виконувати поставлені завдання, а також тактико-технічних характеристик обладнання, яке є на озброєнні у відділеннях підводного розмінування груп піротехнічних робіт і спеціальних водолазних робіт Аварійно-рятувальних загонів спеціального призначення ДСНС України.

Водночас конкретні розробки, наприклад [19], в яких проаналізовано управління проектами потенційно небезпечних підводних об'єктів у складі технічних, технологічних, організаційних та економічних інформаційних платформ, або [20], в яких розглядаються датчики ідентифікації морських мін, обмежуються розв'язанням вузьких задач. Хоча під час обговорення проблем підводного розмінування [21] особливо наголошують на їхньому комплексному характері.

У дослідженнях щодо попередження та ліквідації НС на суходолі розглядали цей процес різнобічно, але їх важко безпосередньо використати для вдосконалення робіт із підводного розмінування. Так, у [22–23] їх вивчали з погляду розвитку НС; у [24–25] – з позицій організації робіт з ліквідації НС; у [26–27] – з позицій загальної теорії профілактики. Проте у всіх цих випадках вони не розглядали процес ліквідації НС, що пов'язані із підводним розташуванням вибухонебезпечних предметів (далі – ПНС), із позицій забезпечення якості функціонування системи «ПНС – спеціальні засоби підводного розмінування – водолаз-сапер». Водночас відповідно до методології імітаційного моделювання [28] обґрунтування пропозицій щодо підвищення

ефективності таких складних систем має спиратись на закономірності їх функціонування загалом.

Стосовно підводного розмінування водолазом-сапером визначити такі закономірності можна за результатами аналізу відповідної математичної моделі. У [29] показано що в загальному вигляді вона являє собою систему із трьох аналітичних залежностей. Перша являє собою функціонал, який описує процес підводного розмінування як трифакторну поліноміальну модель. Наявність поліноміальної моделі дає змогу врахувати нелінійний вплив обраних факторів, а також їх зв'язок між собою на ефективність проведення підводного розмінування. Друга надає можливість уявити цей функціонал як сукупність однофакторних моделей. Третя забезпечує визначення вагових коефіцієнтів у разі розв'язання багатфакторного завдання. Проте обґрунтування оперативно-технічних рекомендацій спеціалізованим відділенням підводного розмінування групи піротехнічних робіт та спеціальних водолазних робіт на їх основі не проводилось.

Таким чином, важливою та нерозв'язаною частиною проблеми підвищення ефективності попередження надзвичайних ситуацій, пов'язаних з підводним розташуванням вибухонебезпечних предметів, є відсутність методики обґрунтування оперативно-технічних рекомендацій щодо скорочення часу підводного розмінування водолазами-саперами ДСНС України без зниження рівня безпеки особового складу.

Формулювання цілей дослідження. Метою статті є розроблення методики обґрунтування оперативно-технічних рекомендацій щодо скорочення часу підводного розмінування водолазами-саперами.

Для досягнення поставленої мети потребують розв'язання такі завдання:

- вибір керувального алгоритму, який реалізує математичну модель підводного розмінування в процесі обґрунтування рекомендацій щодо скорочення часу оперативних робіт без зниження рівня безпеки особового складу;
- обґрунтування варіантів оперативної діяльності водолазів-саперів у процесі підводного розмінування;
- експертне отримання вихідних даних та їх оцінка;
- визначення параметрів багатфакторних моделей підводного розмінування та перевірка їх достовірності;
- аналіз та спрощення моделей;
- отримання оперативно-технічних рекомендацій для спеціалізованих піротехнічних підрозділів підводного розмінування та їх вибір для упровадження.

Методи дослідження. Застосовано системний ергономічний аналіз діяльності водолаза-сапера як функціонування системи «водолаз-сапер – технічне забезпечення підводного розмінування – підводне розташування вибухонебезпечного предмета», а також статистичні методи планування експериментальних досліджень та обробки отриманих результатів, математико-статистичні методи безпосередніх експертних оцінок.

Виклад основного матеріалу. Відповідно до розробленої у [29] математичної моделі (14) керувальний алгоритм реалізації методики обґрунтування оперативно-технічних рекомендацій щодо скорочення часу підводного розмінування водолазами-саперами ДСНС України без зниження рівня підготовленості особового складу наведено на рис. 1.



Рисунок 1 – Схема керувального алгоритму реалізації методики обґрунтування оперативно-технічних рекомендацій щодо скорочення часу підводного розмінування водолазами-саперами

Джерело: розробка авторів

Враховуючи те, що дії водолазів-саперів під час підводного пошуку вибухонебезпечних предметів були докладно досліджені в [7], де підкреслено, що під час цього процесу особлива увага має приділятися питанням загальної організації робіт щодо розмінування та залученню новітніх технічних засобів їх пошуку. Основними процесами, які потребують отримання рекомендацій щодо скорочення часу підводного розмінування безпосередньо водолазами-саперами, є підіймання вибухонебезпечних предметів з глибини та, якщо це зробити неможливо, – їх підводний підрив.

З урахуванням того, що на процес підводного розмінування впливають вихідні показники, які характеризують множини $X_{ВС}$ (характеризують безпосередньо водолазів-саперів), $X_{НС}$ (характеризують надзвичайну ситуацію та умови проведення підводного розмінування) та $X_{ТЗ}$ (характеризують сукупність технічних засобів забезпечення підводного розмінування), а також результатів аналізу особливостей проведення підводного розмінування [30],

можна виділити такі важливі фактори, які визначають процес підводного розмінування, як системи: x_1 – рівень підготовленості водолаза-сапера; x_2 – умови, в яких працює особовий склад; x_3 – рівень оснащеності.

Аналіз відібраних факторів та результати експериментальних досліджень [30] показують, що рівень x_1 підготовленості водолазів-саперів впливає на час підводного розмінування нелінійно. Так, підвищення рівня практичної виучки особового складу буде сильніше впливати на час підводного розмінування під час переходу від початкового рівня підготовленості ($x_1=-1$) до фахового ($x_1=0$), ніж від фахового до високофахового ($x_1=+1$). Останній відповідає рівню водолазів-саперів, які мають 1 клас або є майстрами своєї справи.

Аналогічно можна стверджувати й про три рівні умов, в яких проводиться підводне розмінування. Гарним ($x_2=+1$) відповідають гарна видимість, відсутність течії та глибина до 3 м. Звичайним ($x_2=0$) – обмежена видимість на відстані понад 3 м,

незначна течія та глибина від 3 до 6 м, а поганим ($x_2=-1$) – обмежена видимість на відстані менше 3 м, значна течія та глибина понад 6 м. Стосовно рівня оснащеності в

нашому випадку на сьогодні можна стверджувати про два рівні: використання сухого та мокрого гідрокостюмів.

З урахуванням переходу вибраного показника ефективності (часу підймання вибухонебезпечного предмета Т) до нормованого вигляду

$$y = \frac{t - t_{\min}}{t_{\max} - t_{\min}}, \quad (1)$$

де t_{\max} – час підймання вибухонебезпечного предмета водолазом-підводником початкового рівня підготовленості ($x_1=-1$) в поганих умовах ($x_2=-1$) з використанням сухого гідрокостюма ($x_3 = -1$), с; t_{\min} – час підймання вибухонебезпечного предмета водолазом-підводником високофахового рівня підготовленості ($x_1=+1$) в гарних умовах ($x_2=+1$) з використанням мокрого гідрокостюма ($x_3 = +1$), с.

Трифакторна поліноміальна модель [36]:

$$t = a_0 + a_1 X_{BC} + a_2 X_C + a_3 X_{CЗПР} + a_{11} X_{BC}^2 + a_{22} X_C^2 + a_{33} X_{CЗПР}^2 + a_{12} X_{BC} X_C + a_{13} X_{BC} X_{CЗПР} + a_{23} X_C X_{CЗПР}, \quad (2)$$

трансформується в трифакторну поліноміальну модель виду

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 + b_{33} x_3^2 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{23} x_2 x_3. \quad (3)$$

Тобто для отримання багатофакторної моделі підводного розмінування доцільно провести багатофакторний експеримент відповідно до плану 3х3х2. Оскільки статистично значущі вихідні дані за результатами натурних експериментів отримати практично неможливо, ухвалено рішення щодо експертної оцінки вибраних варіантів оперативної діяльності водолазів-саперів за вибраним планом.

У цьому разі необхідно визначити

найбільш ймовірний \tilde{t}_j , мінімальний $t_{j \min}$ та максимальний $t_{j \max}$ часу виконання j-того процесу. Для їх визначення кожний і-тий експерт надає відповідні індивідуальні оцінки виконання і-тої операції $\langle t_{ij \min}, \tilde{t}_{ij}, t_{ij \max} \rangle$. Це дає змогу усереднене очікуване значення \tilde{t}_j розглядати як середньовиважену оцінку за спостереженнями всіх n експертів [31]:

$$\tilde{t}_i = \sum_{j=1}^n V_{ij}(\tilde{t}_j) \tilde{t}_{ij}, \quad (4)$$

де $v_j(\tilde{t}_j)$ – ваговий коефіцієнт j-го експерта за оцінки \tilde{t}_j , який розраховується як

$$V_{ij}(\tilde{t}_j) = \frac{1}{(\tilde{t}_{ij} - \tilde{t}_j)^2 \cdot \sum_{i=1}^n \frac{1}{(\tilde{t}_{ij} - \tilde{t}_j)^2}}, \quad \text{де } \bar{\tilde{t}}_j = \frac{\sum_{i=1}^n \tilde{t}_{ij}}{n}. \quad (5)$$

За (4) та (5) аналогічним чином розраховуються $t_{i \min}$ та $t_{i \max}$.

Після того як будуть виключені аномальні значення оцінок, що задовольняють нерівності

$$|\tilde{t}_{ij} - \bar{t}_i| \geq a \cdot \sigma_i(\tilde{t}_i), \quad (6)$$

$$\text{де } a = 2,5 \div 3,0; \sigma_i(\tilde{t}_i) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{j=1}^n (\tilde{t}_{ij} - \bar{t}_i)^2};$$

та у разі потреби повторного розрахунку \tilde{t}_i , $t_{i \min}$ та $t_{i \max}$ можна визначити як параметри нормального розподілу, і в цьому разі найбільш імовірна оцінка часу виконання і-тої операції \tilde{t}_i розглядається як її математичне очікування \bar{t}_i , а середньоквадратичне відхилення як

$$\sigma_i \approx \frac{t_{i \max} - t_{i \min}}{6}, \quad (7)$$

так і параметри β -розподілу часу виконання і-тої комбінації обраних факторів під час підймання вибухонебезпечного предмета.

Для цього використовуються характеристики β -розподілу з параметрами $\alpha > 1$ та $\beta > 1$, оскільки [32] в кодованих змінних оцінка найбільш вірогідного часу виконання і-тої операції дорівнює

$$\tilde{x}_i = \frac{\tilde{t}_i - t_{i \min}}{t_{i \max} - t_{i \min}} = \frac{\alpha_i - 1}{\alpha_i + \beta_i - 2}, \quad (8)$$

а дисперсія цієї оцінки

$$\sigma^2(x_i) = \frac{\alpha_i \cdot \beta_i}{(\alpha_i + \beta_i)^2 \cdot (\alpha_i + \beta_i + 1)}. \quad (9)$$

З урахуванням переходу від кодованих змінних до натуральних експертна оцінка математичного очікування часу виконання і-тої комбінації обраних факторів під час підймання вибухонебезпечного предмета

$$\bar{t}_i = t_{i \min} + \frac{\alpha_i}{\alpha_i + \beta_i} \cdot (t_{i \max} - t_{i \min}). \quad (10)$$

Проте групова оцінка вважається достатньо надійною тільки за умови доброї узгодженості залучених фахівців [32]. З огляду на це статистичній обробці інформації, яка отримана від експертів, має передувати оцінка ступеня їх узгодженості.

За аналогією з [33] для цього може використовуватись показник скошеності (5) розподілу часу виконання процесу та мода, в якості якої використовується найбільш ймовірний час виконання цієї операції (6), оскільки можуть мати місце випадки, коли оцінки найбільш імовірного часу виконання процесу в окремих експертів різко відрізняються від таких же оцінок інших фахівців. Унаслідок цього щодо кожного і-го процесу необхідно перевіряти узгодженість думок експертів щодо того, в якому місці інтервалу

$[t_{i \min}; t_{i \max}]$ перебуває найбільш імовірний час \tilde{t}_i його виконання і як це впливає на середній час виконання \bar{t}_i процесу. Для цього отримані оцінки після кодування (10) доцільно проранжувати за умови розподілення результатів за трьома рангами ($m=3$) таким чином: якщо $\tilde{x}_i < 0,5$, то результати, що мають менший час, отримують ранг $v_1 = 1$; результати поблизу середини діапазону – $v_2 = 2$, а результати в другій половині діапазону – $v_2 = 3$. В іншому випадку ($\tilde{x}_i > 0,5$): $v_1 = 3$; $v_2 = 2$; $v_3 = 1$. Коли ж експерт не може визначити та встановити оцінку в середині діапазону ($\tilde{x}_i \approx 0,5$), береться $v_1 = v_2 = v_3 = 2$. Тобто умова ранжування може бути записана як

$$\{v_1, v_2, v_3\} = \begin{cases} \{1, 2, 3\}, & \text{якщо } \bar{x}_j < 0.5; \\ \{3, 2, 1\}, & \text{якщо } \bar{x}_j > 0.5; \\ \{2, 2, 2\}, & \text{якщо } \bar{x}_j \approx 0.5. \end{cases} \quad (11)$$

Крім того, прийнято такі позначення: q – кількість суперечливих оцінок, тобто тих, в яких відрізняється місце найбільш вірогідного часу виконання операції порівняно з місцем, яке вказує основна група експертів; p – кількість оцінок, в яких експерти не змогли вказати місце найбільш вірогідного часу виконання

операції (якщо всі експерти як найбільш ймовірний результат вказують середину діапазону, вважаємо $q=p=0$). В такому разі узгодженість думок експертів оцінюється за допомогою коефіцієнта конкордації W [32], тобто загального коефіцієнта рангової кореляції для групи, що складається з n експертів.

Для розрахунку значення коефіцієнта конкордації спочатку розраховується сума квадратів різниць (відхилень) за формулою

$$S = \sum_{i=1}^m \left\{ \sum_{j=1}^n v_{ij} - \frac{n}{2} \cdot n \cdot (m+1) \right\}^2, \quad (12)$$

де n – кількість експертів в групі; m – кількість можливих показників (у нашому випадку $m=3$).

Тоді сумарне квадратичне відхилення від їх середнього значення для сумарних рангів факторів за найкращої узгодженості (коли всі експерти надають однакові оцінки) має вигляд

$$S_{\max} = \frac{1}{12} \cdot m \cdot n^2 \cdot (m^2 - 1), \quad (13)$$

а оскільки коефіцієнт конкордації розглядається як відношення фактично отриманої величини S до її максимального значення для групи експертів, яка залучена, то

$$W = \frac{S}{S_{\max}} = \frac{12 \cdot S}{n^2 (m^3 - m)} = \frac{S}{2 \cdot n^2}. \quad (14)$$

Отримане значення коефіцієнта конкордації W дає змогу оцінити не випадкову узгодженість експертів, використовуючи критерій χ^2 з відповідним рівнем значущості α .

Із урахуванням незначної кількості фахівців підводного розмінування в Україні можна використати спрощений вираз, який наведено в [34] щодо визначення розрахункового коефіцієнта конкордації

$$W \geq W_{\text{дон}}(\alpha = 0,05),$$

$$\text{якщо } \begin{cases} p = 0, q = 0 & \text{при } n \geq 4; \\ p = 1, q = 0 & \text{при } n \geq 5; \\ p = 0, q = 1 & \text{при } n \geq 7; \\ p = 1, q = 1 & \text{при } n \geq 8, \end{cases} \quad (15)$$

який свідчить про те, що за рівня значущості $\alpha=0,05$ не випадкова узгодженість в думках експертів існує як у тих випадках, коли за $n = 4 \div 8$ всі фахівці однаково вказали діапазон, в якому знаходиться місце найбільш вірогідного часу виконання i -ої операції, так і в тих, коли має місце одна оцінка без уточнення

місця знаходження \tilde{t}_i за $n > 4$ або є одна суперечлива оцінка за $n > 6$.

У разі залучення до експертної групи восьми фахівців (а саме така ситуація мала місце в нашому випадку) допускається по одній суперечливій оцінці і одній оцінці без уточнення місця знаходження.

Наявність експертних оцінок часу виконання підводного розмінування за вибраним варіантом відповідно до плану 3x3x2 дає змогу визначити після переходу до нормованого відповідно до (1) подання вихідних даних оцінки параметрів трифакторної поліноміальної моделі (3). В цьому разі можна використовувати [35] готові формули

$$b_0 = A_0(0Y) - \sum A_{0i}(i0Y), \quad (16)$$

$$b_i = A_i(iY), \quad (17)$$

$$b_{ij} = A_{ij}(ijY), \quad (18)$$

$$b_{ii} = A_{ii}(iiY) - A_{0i}(0Y), \quad (19)$$

де $A_0, A_{0i}, A_i, A_{ij}, A_{ii}$ – постійні для розрахунку коефіцієнтів регресії у разі симетричних планів; $0Y, iiY, iY, ijY$ – суми результатів експертних оцінок, якщо вони будуть такими, як наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Результати експертного оцінювання розглянутих відповідно до плану 3x3x2 варіантів підводного розмінування у нормованому вигляді

Варіант розмінування	1	2	3	4	5	6
x_1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
x_2	-1	-1	0	0	1	1
x_3	-1	1	-1	1	-1	1
\tilde{x}	1,0	$x\{-1,-1,1\}$	$x\{-1,0,-1\}$	$x\{-1,0,1\}$	$x\{-1,1,-1\}$	$x\{-1,1,1\}$
σ	$\sigma\{-1,-1,-1\}$	$\sigma\{-1,-1,1\}$	$\sigma\{-1,0,-1\}$	$\sigma\{-1,0,1\}$	$\sigma\{-1,1,-1\}$	$\sigma\{-1,1,1\}$
Варіант розмінування	7	8	9	10	11	12
x_1	0	0	0	0	0	0
x_2	-1	-1	0	0	1	1
x_3	-1	1	-1	1	-1	1
\tilde{x}	$x\{0,-1,-1\}$	$x\{0,-1,1\}$	$x\{0,0,-1\}$	$x\{0,0,1\}$	$x\{0,1,-1\}$	$x\{0,1,1\}$
$\sigma_{\tilde{x}}$	$\sigma\{0,-1,-1\}$	$\sigma\{0,-1,1\}$	$\sigma\{0,0,-1\}$	$\sigma\{0,0,1\}$	$\sigma\{0,1,-1\}$	$\sigma\{0,1,1\}$
Варіант розмінування	13	14	15	16	17	18
x_1	1	1	1	1	1	1
x_2	-1	-1	0	0	1	1
x_3	-1	1	-1	1	-1	1
\tilde{x}	$x\{1,-1,-1\}$	$x\{1,-1,1\}$	$x\{1,0,-1\}$	$x\{1,0,1\}$	$x\{1,1,-1\}$	0
$\sigma_{\tilde{x}}$	$\sigma\{1,-1,-1\}$	$\sigma\{1,-1,1\}$	$\sigma\{1,0,-1\}$	$\sigma\{1,0,1\}$	$\sigma\{1,1,-1\}$	$\sigma\{1,1,1\}$

Джерело: розробка авторів

Перевірка достовірності багатofакторної моделі підводного розмінування водолазами-саперами проводиться через порівняння результатів, отриманих відповідно до (3) після використання (16) – (19), з результатами реального підводного розмінування особовим складом конкретного відділення підводного розмінування групи

піротехнічних робіт та спеціальних водолазних робіт аварійно-рятувального загону спеціального призначення через перевірку укладання натурних результатів в умови, які відповідають конкретній комбінації вибраних факторів, в довірчі інтервали, що розраховані з надійністю 0,95 за результатами експертного оцінювання.

Звісно, перед цим необхідно зробити зворотний перехід

$$t_i\{x_1, x_1, x_3\} = x_i\{x_1, x_1, x_3\} \cdot (t_{i \max} - t_{i \min}) + t_{i \min} \quad (20)$$

Тоді довірчий інтервал визначається як

$$t_i(x_1, x_2, x_3) = \tilde{t}_i \pm 1.96 \cdot \frac{\sigma_i(x_1, x_2, x_3)}{\sqrt{n}}, \quad (21)$$

де n – кількість експертів, за оцінками яких визначались середньозважені оцінки середнього часу та середньоквадратичного відхилення відповідно до обраної комбінації значущих факторів під час вибраного варіанта підводного розмінування.

Відповідно можуть відрізнитись і пропозиції щодо ефективності проведення підводного розмінування, які будуть отримані для центра факторного простору та для його країв.

Якщо перевірка ряду дисперсій за σ -критерієм Кохрену [36]

$$Kh = \frac{(\sigma_n^2)_{\max}}{\sum_{n=1}^n \sigma_n^2} \leq Kh_{\text{табл}}, \quad (22)$$

де $(\sigma_n^2)_{\max}$ – максимальна дисперсія в ряду, що розглядається; $n=18$ – кількість точок вибраного плану $3 \times 3 \times 2$,

підтвердить правдоподібність такої гіпотези, то під час подальшого аналізу можна користуватись середньою нормованою дисперсією отриманих експертних оцінок

$$\sigma_{\bar{x}}^2 = \frac{1}{18} \cdot \sum_{n=1}^{18} \sigma_n^2. \quad (23)$$

У разі потрапляння натурних результатів у довірчий інтервал (21) можна перейти до аналізу математичної моделі (3). Водночас необхідно враховувати, що однофакторні моделі

$y = f_i(x_i)$, відповідно до параметрів яких визначаються [29] оперативно-технічні рекомендації, за різних умов стабілізації можуть відрізнитись (табл. 2).

Таблиця 2– Однофакторні моделі $y = f_i(x_i)$ за різних умов стабілізації

Фактор	У зоні максимуму	У центрі факторного простору	У зоні мінімуму
x_1	$y = (b_0 - b_2 - b_3) + (b_1 - b_{12} - b_{13}) \cdot x_1 + b_{11} \cdot x_1^2$	$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_{11} \cdot x_1^2$	$y = (b_0 + b_2 + b_3 + b_{22} + b_{33}) + (b_1 + b_{12} + b_{13}) \cdot x_1 + b_{11} \cdot x_1^2$
x_2	$y = (b_0 - b_1 - b_2 + b_{11}) + (b_3 - b_{12} - b_{23}) \cdot x_2 + b_{22} \cdot x_2^2$	$y = b_0 + b_2 \cdot x_2 + b_{22} \cdot x_2^2$	$y = (b_0 + b_1 + b_2 + b_{11}) + (b_3 + b_{12} + b_{23}) \cdot x_2 + b_{22} \cdot x_2^2$
x_3	$y = (b_0 - b_1 - b_3 + b_{11}) + (b_2 - b_{13} - b_{23}) \cdot x_3$	$y = b_0 + b_3 \cdot x_3$	$y = (b_0 + b_1 + b_3 + b_{11}) + (b_2 + b_{13} + b_{23}) \cdot x_3$

Джерело: розробка авторів

У цьому разі для розрахунку значень дисперсій оцінок отриманих коефіцієнтів також можна використовувати готові [38] вирази

$$\sigma_{\bar{x}}\{b_0\} = A_0 \cdot \sigma_{\bar{x}}, \quad (24)$$

$$\sigma_{\bar{x}}\{b_i\} = A_i \cdot \sigma_{\bar{x}}, \quad (25)$$

$$\sigma_{\bar{x}}\{b_{ij}\} = A_{ij} \cdot \sigma_{\bar{x}}, \quad (26)$$

$$\sigma_{\bar{x}}\{b_{ii}\} = A_{ii} \cdot \sigma_{\bar{x}}, \quad (27),$$

які застосовуються для обчислювання відповідних критичних значень

$$b_{кр} = t \cdot \sigma\{b\}, \quad (28)$$

де t береться з таблиць [36] за обраного рівня значущості α та числі ступенів свободи.

Отримані значення (28) дають змогу за кожного рівня ризику α побудувати та проаналізувати графі зв'язку між факторами у разі зростаючого ризику для моделі (3). Враховуючи те, що під час проведення пошукових досліджень, а дослідження систем «людина – техніка – середовище» належить саме до таких [35], цей процес доцільно здійснювати від рівня

Для визначення того, які вихідні чинники з множини X потребують першочергової уваги в центрі факторного простору $(x_0^{(i)})$ та на його краях $(x_{\min}^{(i)}; x_{\max}^{(i)})$ необхідно проранжувати відповідно до ваги коефіцієнтів за відповідної змінної в (3) у центрі факторного простору

$$(x_0^{(1)} \geq x_0^{(2)} \geq x_0^{(3)}) = \text{rang} \left\{ \begin{array}{l} |b_{y_0(x_1)}| \\ |b_{y_0(x_2)}| \\ |b_{y_0(x_3)}| \end{array} \right\} \quad (29)$$

та на його краях

$$(x_{\min,(\max)}^{(1)} \geq x_{\min,(\max)}^{(2)} \geq x_{\min,(\max)}^{(3)}) = \text{rang} \left\{ \begin{array}{l} |b_{y_{\min,(\max)}(x_1)}| \\ |b_{y_{\min,(\max)}(x_2)}| \\ |b_{y_{\min,(\max)}(x_3)}| \end{array} \right\}. \quad (30)$$

Аналіз ваги коефіцієнтів в однофакторних моделях відповідно до (29) та (30) дасть змогу провести ранжування обраних факторів та визначити, який з них є найбільш вагомим, та навпаки, у кожній зоні. Оскільки обґрунтування пропозицій в цьому випадку базується на (3), де враховано вплив (у тому разі нелінійний) не тільки безпосередньо кожного окремого показника x_i , а й ефекти взаємодії з іншими показниками $x_j (j \neq i)$, то вони

значущості двостороннього ризику $\alpha=0,01$ до рівня $\alpha=0,2$.

Цей процес здійснюється через аналіз відповідних однофакторних моделей $y = f_i(x_i)$, отриманих за стабілізації інших факторів.

Оскільки однофакторні моделі, визначені на рівнях, що відповідають координатам екстремумів $y_{i \min}$ та $y_{i \max}$, а також у центрі факторного простору y_0 можуть відрізнитись (табл. 2). Відповідно можуть відрізнитись і пропозиції щодо ефективності проведення підводного розмінування, які будуть отримані для центра факторного та для його країв. Тобто обґрунтування пропозицій щодо підвищення ефективності підводного розмінування доцільно здійснювати за максимальними перепадами Δy .

(пропозиції) мають оперативно-технічний характер і стають основою конкретних оперативно-технічних рекомендацій, оскільки обрані фактори характеризують як технічну (фактор x_3), так і оперативну складові: роботу особового складу (людський фактор x_1) відділення підводного розмінування в умовах впливу навколишнього середовища (фактор x_2).

Висновки та напрями подальших досліджень. Важливою та нерозв'язаною частиною проблеми

підвищення ефективності попередження надзвичайних ситуацій, пов'язаних із підводним розташуванням вибухонебезпечних предметів, є відсутність методики обґрунтування оперативно-технічних рекомендацій щодо скорочення часу підводного розмінування водолазами-саперами ДСНС України без зниження рівня безпеки особового складу;

– відповідно до наявної математичної моделі методика обґрунтування оперативно-технічних рекомендацій щодо скорочення часу підводного розмінування являє собою сукупність таких послідовних дій:

– вибір варіантів оперативної діяльності під час підводного

розмінування; їх експертна оцінка відповідно до плану 3x3x2 з урахуванням факторів, які характеризують рівень підготовленості водолазів-саперів, умови, в яких вони працюють, а також оснащення;

– визначення параметрів багатофакторних моделей підводного розмінування та перевірка їх достовірності;

– їх аналіз та спрощення з подальшим ранжуванням факторів в центрі факторного простору та на його краях;

– експертне обґрунтування рекомендацій для впровадження;

– вибір і реалізація оперативно-технічних рекомендацій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Dario Matika, Slavko Barić, Maritime environmental security. *Scientific Journal of Maritime Research*. 2016. Vol. 30. P. 19–27. doi : <https://doi.org/10.31217/p.30.1.3>.
2. Соловійов І. І., Стрілець В. М. Проблемні питання виконання робіт з підводного розмінування. *Енергозбереження та промислова безпека : виклики та перспективи* : матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції. Київ : КПІ ННДІ ПБраОП, 2020. С. 225–23.
3. Про затвердження Стандартної оперативної процедури 09.10-12(1)/ДСНС : «Порядок проведення органами та підрозділами цивільного захисту очищення (розмінування) територій, забруднених вибухонебезпечними предметами. Оперативне реагування» : наказ ДСНС України від 08.08.2018 р. № 461. *ZakonOnline* : вебсайт. URL : https://zakononline.com.ua/documents/show/56964_56964 (дата звернення : 24.10.2022).
4. Möller Gunnar From a DC-3 to BOSB : The Road to a Breakthrough in Military Safety Measures Against the Risks of Historic, Explosive Ordnance. *Marine Technology Society Journal*. Vol. 45. № 6, 2011. pp. 26–34(9). doi : [10.4031/MTSJ.45.6.1](https://doi.org/10.4031/MTSJ.45.6.1).
5. IMAS 09.60 : 2014, IDT. Underwater Survey and Clearance of Explosive Ordnance (EO). URL : https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/www.mineactionstandards.org_fileadmin_MAS_documents_imas-international-standards_english_series-09_IMAS_09.60_Underwater_Surveyand_Clearance_of_Explosive_Ordnance__EO_.pdf (last accessed 24.10.2022).
6. Standard Operating Procedures for Humanitarian Underwater Demining in South Eastern Europe. URL : <https://old.mineactionstandards.org/fileadmin/MAS/documents/references-publications/Humanitarian-Underwater-Demining-in-South-Eastern-Europe.pdf> (last accessed 24.10.2022).
7. Humanitarian Demining, Geneva International Centre for «A Guide to Survey and Clearance of Underwater Explosive Ordnance». *Global CWD Repository*. 2016. pp. 1326. URL : <https://commons.lib.jmu.edu/cisr-globalcwd/1326> (last accessed 24.10.2022).
8. Frey Torsten, Beldowski Jacek, Maser Edmund Explosive Ordnance in the Baltic Sea : New Tools for Decision Makers. *The Journal of Conventional Weapons Destruction*. 2020. Vol. 23 : Iss. 3. pp. 11. URL : <https://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol23/iss3/11> (last accessed 24.10.2022).
9. Frederic Maussang, Jocelyn Chanussot, Michèle Rombaut, Maud Amate From statistical detection to decision fusion : detection of underwater mines in high resolution SAS images. *Advances in Sonar Technology* / edited by Sergio Rui Silva. In-Tech. 2009. pp.111–150. URL : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02118475/document> (last accessed 24.10.2022).
10. Mareike Kampmeier, Eefke Mvander Lee, UweWichert, JensGreinert Exploration of the munition dumpsite Kolberger Heide in Kiel Bay, Germany : Example for a standardised hydroacoustic and optic monitoring approach. *Continental Shelf Research*. Vol. 198. (15). 2020. pp. 104–108. doi : [10.1016/j.csr.2020.104108](https://doi.org/10.1016/j.csr.2020.104108).
11. Коцюрuba В., Цыбуля С., Рыбалко В. «Обоснование применения метода воздушной разведки района интенсивного применения минного оружия». *Журнал научных трудов «Социальное развитие и безопасность»* Вып. 9 (1). 2019. С. 60–68. doi : [10.33445/sds.2019.9.1.5](https://doi.org/10.33445/sds.2019.9.1.5).
12. Sayle Stephen, Windeyer Tom, Charles Michael, Conrod Scott, Stephenson Malcolm. Site Assessment and Risk Management Framework for Underwater Munitions. *Marine Technology Society Journal*. Vol. 43. № 4. 2009. pp. 41–51. doi : [10.4031/MTSJ.43.4.10](https://doi.org/10.4031/MTSJ.43.4.10).
13. The British Army - Commando Engineer Diver. UK Ministry of Defence. Retrieved 17 April 2017. URL : <https://www.army.mod.uk/who-we-are/corps-regiments-and-units/corps-of-royal-engineers/> (last accessed 24.10.2022).
14. Marco Werman, Irwin Loy. Training to Become Cambodia's First Underwater Deminers. *The World (Arts, Culture & Media)*. 2013. March 07. URL : [https://www.pri.org/stories/2013-03-07/training-become-cambodias-first-under water-deminers](https://www.pri.org/stories/2013-03-07/training-become-cambodias-first-under-water-deminers) (last accessed 24.10.2022).

15. Mijajlovic Veselin The Regional Center for Divers Training and Underwater Demining. *The Journal of ERW and Mine Action*. Vol. 17 : Iss. 2. 2013. pp. 13. URL : <https://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol17/iss2/13> (last accessed 24.10.2022).
16. Huet C., Mastroddi F. Autonomy for underwater robots – a European perspective. *Auton Robot* 40. 2016. pp. 1113–1118. doi : 10514-016-9605-x.
17. Nick Cooper, Simon Cooke, Kevin Burgess. Risky Business Dealing with Unexploded Ordnance (UXO) in the Marine Environment. *Coasts, Marine Structures and Breakwaters*. Published Online : August 21, 2018. doi : 10.1680/cmsb.63174.0157.
18. Mijajlovic Veselin The Regional Center for Divers Training and Underwater Demining. *The Journal of ERW and Mine Action*. Vol. 17 : Iss. 2. 2013. pp. 13. URL : <https://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol17/iss2/13> (last accessed 24.10.2022).
19. Грицаенко М. Разработка модели информационной платформы для обезвреживания потенциально опасных подводных объектов. *Технологический аудит и производственные резервы*. 2017. 2 (40), С. 57–62. doi : 10.15587/2312-8372.2018.129208.
20. Olga Lucia, Lopera Tellez, Alexander Borghraef, Eric Mersch. *The Special Case of Sea Mines / Charles Beumier, Damien Closson, Vinciane Lacroix, Nada Milisavljevic, Yann Yvinec*. Mine Action – The Research Experience of the Royal Military Academy of Belgium. IntechOpen. 2017. doi : 10.5772/66994.
21. *Mine Action* : Book of Papers International Symposium 8 th to 11th April. 2019. Slano. Croatia. URL : <http://www.ctro.hr/wp-content/uploads/2019/04/Knjiga-za-web-4-mb.pdf> (last accessed 24.10.2022).
22. Olanunmi Habeeb Okunola Spatial analysis of disaster statistics in selected cities of Nigeria. *International Journal of Emergency Management*. 2019 Vol.15. №4. pp. 299–315. doi : 10.1504/IJEM.2019.104195.
23. Ralf Josef Johanna Beerens Does the means achieve an end? A document analysis providing an overview of emergency and crisis management evaluation practice in the Netherlands. *International Journal of Emergency Management*. 2019. Vol.15. № 3. pp. 221–254. doi : 10.1504/IJEM.2019.102310.
24. Kayvan Yousefi Mojir, Sofie Pilemalm Actor-centred emergency response systems : a framework for needs analysis and information systems development. *International Journal of Emergency Management (IJEM)*. 2016. Vol. 12. № 4. pp.435–456. doi : 10.1504/IJEM.2016.079844.
25. Willem Treurniet, Kees Boersma, Peter Groenewegen Configuring emergency response networks. *International Journal of Emergency Management*. 2019. Vol.15. №4. pp.316–333. doi : 10.1504/IJEM.2019.104200.
26. Gibson T. D., Scott N. Views from the Frontline and Frontline methodology : critical reflection on theory and practice. *Disaster Prevention and Management*. 2018. Vol. 28. № 1. pp. 6–19. doi : 10.1108/DPM-07-2018-0214.
27. Garnier E. Lessons learned from the past for a better resilience to contemporary risks. *Disaster Prevention and Management*. 2019. Vol. 28 № 6. pp. 786–803. doi : 10.1108/DPM-09-2019-0303.
28. Стрелец В. М. Имитационный анализ системы «человек-машина» как метод эргономической оценки функционирования аварийных служб. *Научно-технический журнал «Радиоэлектроника и информатика»*. 2001. № 3 (16). С. 125–128.
29. Соловйов І. І. Математична модель підводного розмінування водозадами-саперами ДСНС України. *Комунальне господарство міст*. 2021. № 6 (166). С. 175–183. doi 10.33042/2522-1809-2021-6-166-175-183.
30. Соловйов І. І., Стецюк Є. І., Стрелець В. М. Закономірності розходу повітря під час підводного розмінування водних акваторій. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. 2020. № 2 (32). С. 132–144. doi : 10.5281/zenodo.4400181.
31. Стрелец В. М. Применение экспертного метода для непосредственной оценки результатов деятельности. *Информационные системы* : сб. науч. тр. НАНУ, ПАНИ, ХВУ. 1998. Вып. 2(10). С.165–168.
32. Бешелев С. Д., Гурвич Ф. Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. М. : Статистика, 1974. 264 с.
33. Стрелец В. М. Раскрытие закономерностей выполнения основных операций боевого развертывания пожарных автомобилей. *Системы озброєння і військова техніка*. 2015. Вип. 2(42). С. 173–175.
34. Стрелец В. М. Раскрытие закономерностей выполнения основных операций боевого развертывания пожарных автомобилей. *Системы озброєння і військова техніка*. 2015. Вип. 2 (42). С.173–175.
35. Вознесенский В. А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях. М. : Финансы и статистика, 1981. 263 с.
36. Митропольский А. К. Техника статистических вычислений. М. : «Наука», 1971. 576 с.

REFERENCES

1. Dario Matika, Slavko Barić (2016). Maritime environmental security. *Scientific Journal of Maritime Research*, 30, 19–27. doi: <https://doi.org/10.31217/p.30.1.3> [in English].
2. Solovjov, I., Strilecz, V. (2020). Problemini py'tannya vy'konannya robot z pidvodnogo rozminuvannya [Problematic issues of underwater demining]. Enerhozberezhennia ta promyslova bezpeka: vyklyky ta perspektyvy: materialy III Mizhnarodnoi nauko- praktychnoi konferentsii [Energy conservation and industrial safety: challenges and prospects: materials of the 3rd International Scientific and Practical Conference]. Kyiv. Retrieved from http://dspace.opu.ua/jspui/bitstream/123456789/11111/1/Bochkovskiy%20A._Sapozhnikova%20N..pdf [in Ukrainian].
3. Pro zatverdzhennia Standartnoi operatyvnoi protsedury 09.10-12(1)/DSNS: «Porjadok provedennia orhanamy ta pidrozdilamy tsyvilnoho zakhystu ochyshchennia (rozminuvannia) terytorii, zabrudnnykh vybukhonebezpechnymy predmetamy. Operatyvne reahuvannia» [On approval of Standard Operating Procedure 09.10-12(1)/DSNS: «Procedure for cleaning (demining) territories contaminated by explosive objects by civil defense bodies and units. Prompt response»]: nakaz DSNS Ukrainy vid 08.08.2018 r. № 461. *ZakonOnline: vebseit*. Retrieved from https://zakononline.com.ua/documents/show/56964__56964 [in Ukrainian].
4. Möller Gunnar (2011). From a DC-3 to BOSB: The Road to a Breakthrough in Military Safety Measures Against the Risks of Historic, Explosive Ordnance. *Marine Technology Society Journal*, 45 (6), 26–34(9). doi: 10.4031/MTSJ.45.6.1 [in English].
5. IMAS 09.60:2014, IDT. Underwater Survey and Clearance of Explosive Ordnance (EO). Retrieved from https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/www.mineactionstandards.org_fileadmin_MAS_documents_imas-international-standards_english_series-09_IMAS_09.60_Underwater_Survey_and_Clearance_of_Explosive_Ordnance__EO_.pdf [in English].
6. Standard Operating Procedures for Humanitarian Underwater Demining in South Eastern Europe. Retrieved from <https://old.mineactionstandards.org/fileadmin/MAS/documents/references-publications/Humanitarian-Underwater-Demining-in-South-Eastern-Europe.pdf> [in English].
7. Humanitarian Demining, Geneva International Centre for «A Guide to Survey and Clearance of Underwater Explosive Ordnance» (2016). *Global CWD Repository*, 1326. Retrieved from <https://commons.lib.jmu.edu/cisr-globalewd/1326> [in English].
8. Frey Torsten, Beldowski Jacek, Maser Edmund (2020). Explosive Ordnance in the Baltic Sea: New Tools for Decision Makers. *The*

- Journal of Conventional Weapons Destruction*, 23: 3, 11. Retrieved from <https://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol23/iss3/11> [in English].
9. Frederic Maussang, Jocelyn Chanussot, Michèle Rombaut, Maud Amate (2009). From statistical detection to decision fusion: detection of underwater mines in high resolution SAS images. *Advances in Sonar Technology*. Sergio Rui Silva (Ed). In-Tech, 111–150. Retrieved from <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02118475> [in English].
 10. Mareike Kampmeier, Eefke Mvander Lee, UweWichert, JensGreinert (2020). Exploration of the munition dumpsite Kolberger Heide in Kiel Bay, Germany: Example for a standardised hydroacoustic and optic monitoring approach. *Continental Shelf Research*. 198 (15), 104–108. doi: 10.1016/j.csr.2020.104108 [in English].
 11. Kotsyuruba, V., Tsybulia, S., Rybalko, V. (2019). Obgruntuvannya dotsil'nosti vykorystannya sposobu povitryanoi rozvidky rayoniv intensyvnogo zastosuvannya minnoyi zbroyi [Justification of the using of the method of air reconnaissance of area of intensive application of mine weapons]. *Zhurnal nauchnykh trudov «Sotsyalnoe razvytye y bezopasnost»,* 9 (1), 60–68. doi: 10.33445/sds.2019.9.1.5 [in Russian].
 12. Sayle, S., Windeyer, T., Charles, M., Conrod, S., Stephenson, M. (2009). Site Assessment and Risk Management Framework for Underwater Munitions. *Marine Technology Society Journal*, 43 (4), 41–51. doi: 10.4031/MTSJ.43.4.10 [in English].
 13. The British Army - Commando Engineer Diver. UK Ministry of Defence. Retrieved 17 April 2017 Retrieved from <https://www.army.mod.uk/who-we-are/corps-regiments-and-units/corps-of-royal-engineers/> [in English].
 14. Marco Werman, Irwin Loy (2013, March 07). Training to Become Cambodia's First Underwater Deminers. *The World (Arts, Culture & Media)*. Retrieved from <https://www.pri.org/stories/2013-03-07/training-become-cambodias-first-underwater-deminers> [in English].
 15. Mijajlovic Veselin (2013). The Regional Center for Divers Training and Underwater Demining. *The Journal of ERW and Mine Action*. 17: 2, 13. Retrieved from <https://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol17/iss2/13> [in English].
 16. Huet, C., Mastroddi, F. (2016). Autonomy for underwater robots – a European perspective. *Auton Robot* 40, 1113–1118. doi: 10514-016-9605-x [in English].
 17. Nick Cooper, Simon Cooke, Kevin Burgess. Risky Business (2018, August 21). Dealing with Unexploded Ordnance (UXO) in the Marine Environment. *Coasts, Marine Structures and Breakwaters*. Published Online. doi: 10.1680/cmsb.63174.0157 [in English].
 18. Mijajlovic Veselin (2013). The Regional Center for Divers Training and Underwater Demining. *The Journal of ERW and Mine Action*, 17: 2, 13. Retrieved from <https://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol17/iss2/13> [in English].
 19. Gricaenko, M. (2017). Razrobotka modeli informacionnoj platformy dlya obezvrezhivaniya potencial'no opasnykh podvodnykh ob'ektov [Development of an information platform model for the neutralization of potentially dangerous underwater objects.]. *Tekhnologicheskij audit i proizvodstvennye rezervy*, 2 (40), 57–62. doi: 10.15587/2312-8372.2018.129208 [in Ukrainian].
 20. Olga Lucia, Lopera Tellez, Alexander Borghgraef, Eric Mersch (2017). *The Special Case of Sea Mines /* Charles Beumier, Damien Closson, Vinciane Lacroix, Nada Milisavljevic, Yann Yvinec. Mine Action - The Research Experience of the Royal Military Academy of Belgium. IntechOpen. doi: 10.5772/66994[in English].
 21. *Mine Action: Book of Papers International Symposium 8 th to 11th April. 2019.* Slano. Croatia. Retrieved from <https://www.ctro.hr/wp-content/uploads/2020/11/Knjiga-za-web-4-mb.pdf> [in English].
 22. Olasunkanmi Habeeb Okunola (2019). Spatial analysis of disaster statistics in selected cities of Nigeria. *International Journal of Emergency Management*, 15 (4), 299–315. doi: 10.1504/IJEM.2019.104195 [in English].
 23. Ralf Josef Johanna (2019). Beerens Does the means achieve an end? A document analysis providing an overview of emergency and crisis management evaluation practice in the Netherlands. *International Journal of Emergency Management*, 15 (3), 221–254. doi: 10.1504/IJEM.2019.102310 [in English].
 24. Kayvan Yousefi Mojir, Sofie Pilemalm (2016). Actor-centred emergency response systems: a framework for needs analysis and information systems development. *International Journal of Emergency Management (IJEM)*, 12, (4), 435–456. doi:10.1504/IJEM.2016.079844 [in English].
 25. Willem Treurniet, Kees Boersma, Peter Groenewegen (2019). Configuring emergency response networks. *International Journal of Emergency Management*, 15, (4), 316–333. doi: 10.1504/IJEM.2019.104200 [in English].
 26. Gibson, T. D., Scott, N. (2018). Views from the Frontline and Frontline methodology: critical reflection on theory and practice. *Disaster Prevention and Management*, 28 (1), 6–19. doi: 10.1108/DPM-07-2018-0214 [in English].
 27. Garnier, E. (2019). Lessons learned from the past for a better resilience to contemporary risks. *Disaster Prevention and Management*, 28 (6), 786–803. doi: 10.1108/DPM-09-2019-0303 [in English].
 28. Strelec, V. (2001). Imitacionnyj analiz sistemy «chelovek-mashina» kak metod ergonomicheskoy ocenki funkcionirovaniya avariynnykh sluzhb [Simulation analysis of the "man-machine" system as a method of ergonomic evaluation of the functioning of emergency services]. *Nauchno-tehnicheskij zhurnal «Radioelektronika i informatika»,* 3 (16), 125–128. [in Russian]
 29. Soloviev, I. (2021). Matematychna model pidvodnoho rozminuvannya vodolazamy-saperamy DSNS Ukrainy [Mathematical model of underwater penetration by sappers of the DSNS of Ukraine]. *Komunalne hospodarstvo mist*, 6(166), 175–183. doi: 10.33042/2522-1809-2021-6-166-175-183 [in Ukrainian].
 30. Soloviev, I., Stetsiuk, Y., Strelets, V. (2020). Zakonomirnosti rozkhdou povitria pid chas pidvodnoho rozminuvannya vodnykh akvatorii [Regularities of air consumption during underwater demining of water areas]. *Problemy nadzvychaynykh sytuatsii*, 2 (32), 132–144. doi: 10.5281/zenodo.4400181 [in Ukrainian].
 31. Strelets, V. (1998). Primenenie ekspertnogo metoda dlya neposredstvennoi otsenki rezultatov deyatelnosti [The use of an expert method for direct assessment of the results of activities]. *Information systems, NANU, PANI, HVU*, 2 (10), 165–168. [in Russian].
 32. Beshelev, S., Gurvich, F. (1974). Matematiko-statisticheskie metody ekspertnykh otsenok [Mathematical and statistical methods of expert assessments]. Moskva: Statistika [in Russian].
 33. Strelec, V. (2015). Raskrytie zakonomernostej vypolneniya osnovnykh operacij boevogo razvertyvaniya pozharnykh avtomobilej [Disclosure of regularities in the performance of the main operations of the combat deployment of fire trucks]. *Systemy ozbroiennia i viiskova tekhnika*, 2(42), 173–175. [in Russian].
 34. Strelec, V. (2015). Raskrytie zakonomernostej vypolneniya osnovnykh operacij boevogo razvertyvaniya pozharnykh avtomobilej [Disclosure of regularities in the performance of the main operations of the combat deployment of fire trucks]. *Systemy ozbroiennia i viiskova tekhnika*, 2(42), 173–175. [in Russian].
 35. Voznesenskij, V. (1981). *Statisticheskie metody planirovaniya eksperimenta v tekhniko-ekonomicheskikh issledovaniyah* [Statistical methods of experiment planning in feasibility studies]. Moskva: Finansy i statistika [in Russian].
 36. Mitropolskij, A. (1971). *Tehnika statisticheskikh vychislenij [Statistical Computing Technique].* M: «Nauka» [in Russian].

METHODOLOGY FOR SUBSTANTIATING OPERATIONAL AND TECHNICAL RECOMMENDATIONS ON REDUCING THE TIME OF UNDERWATER DEMINING BY DIVERS-SAPPERS OF THE STATE EMERGENCY SERVICE OF UKRAINE

I. Soloviov¹, V. Strelets², O. Blyashenko³, V. Servatyuk⁴, A. Pruskyi⁵

¹ Emergency rescue squad for special purposes of Main Directorate of the State Emergency Service of Ukraine in Kherson region, Ukraine

² National University of Civil Defence of Ukraine, Ukraine

³ Ministry of Defence of Ukraine, Ukraine

⁴ The National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskyi Institute of State Military Administration, Ukraine

⁵ Institute of Public Administration and Research in Civil Protection, Ukraine

KEYWORDS:

underwater demining, diver-sapper, expert assessments, multifactorial model, methodology

ANNOTATION

The conducted analysis showed that an important and unresolved part of the problem of increasing the effectiveness of preventing emergency situations related to the underwater location of explosive objects is the lack of a methodology for substantiating operational and technical recommendations for reducing the time of underwater demining by divers-sappers of the State Emergency Service of Ukraine.

The application of systematic ergonomic analysis to represent the activity of a diver-sapper in the form of the functioning of the system «diver-sapper – technical support of underwater demining – underwater location of an explosive object», statistical methods of planning experimental studies and processing the obtained results, as well as mathematical and statistical methods of direct expert evaluations allowed to develop such a methodology, the basis of which is a multifactorial mathematical model. The methodology represents a set of the following sequential actions: selection of options for operational activities (such significant factors as the level of preparedness of the diver-sapper; the conditions of the underwater environment in which the personnel work; the level of their equipment are highlighted); direct expert evaluation of the execution time of the selected options in accordance with the 3x3x2 plan, taking into account the agreement of the experts; determination of parameters of underwater demining models using standard formulas of the theory of experiment planning and verification of their reliability; - analysis and simplification of models with subsequent ranking of factors both in the center of the factor space and at its edges; substantiation of recommendations, substantiation of recommendations that are of an operational and technical nature, since the selected factors characterized both operational (personnel work under environmental conditions) and technical components of the underwater demining process, and their implementation.