

## УДК 351.861

*І. І. Соловійов<sup>1</sup>, нач. відділення – водолазний фахівець (ORCID 0000-0002-0400-6704)*

*В. М. Стрілець<sup>2</sup>, д.т.н., професор, ст. наук. співр. (ORCID 0000-0002-9109-8714)*

*Д. А. Льовін<sup>2</sup>, ад'юнкт (ORCID 0000-0002-1066-0286)*

<sup>1</sup>Головне управління ДСНС України у Херсонській області, Херсон, Україна

<sup>2</sup>Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна

## БАГАТОФАКТОРНА МОДЕЛЬ ПІДЙОМУ ВОДОЛАЗОМ-САПЕРОМ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНОГО ПРЕДМЕТУ

Застосування методів планування експериментальних досліджень показало, що для отримання багатофакторної моделі підйому вибухонебезпечного предмету водолазом-сапером з глибини, яка буде враховувати як вплив, у тому разі нелінійний, обраних параметрів, так і ефекти взаємодії між ними, доцільно провести багатофакторний експеримент у відповідності до плану 3x3x2. Статистичні показники часу підйому вибухонебезпечного предмету у відповідності до такого плану можна отримати із використанням методу безпосередніх експертних оцінок. В результаті було отримано багатофакторну модель підйому вибухонебезпечного предмету водолазами-саперами у вигляді трифакторного квадратичного поліному, коефіцієнти якого встановлюють кількісний зв'язок між рівнем підготовленості особового складу, зовнішніми умовами, в яких він працює, та спорядженням рятувальників. Натурні експерименти підтвердили надійність розробленої математичної моделі з рівнем значущості  $\alpha=0,05$ . Показано, що під час розробки оперативно-технічних рекомендацій водолазам-саперам необхідно додатково враховувати як тип водолазного костюму, так і ефекти взаємодії між рівнем підготовленості особового складу та умовами, в яких вони працюють. В той же час можна не враховувати ефекти взаємодії умов підйому вибухонебезпечного предмету з тим, в якому костюмі працюють водолази-сапери, а також квадратичний ефект від застосування сухого чи мокрого костюму. Слід очікувати, що у випадку підйому вибухонебезпечного предмету підвищення рівня підготовленості більш сильно буде проявлятися у водолазів-саперів з первинним рівнем, як і те, що саме для них на зниження ефективності підводного розмінування будуть впливати погані зовнішні умови роботи. Під час проведення подальших досліджень підвищену увагу потрібно звернути на підготовку водолазів-саперів до роботи в складних умовах та на планування оперативної діяльності спеціалізованого піротехнічного підрозділу, а також використання новітніх технічних засобів забезпечення підводного розмінування.

**Ключові слова:** підводне розмінування, водолаз-сапер, підйом, вибухонебезпечний предмет, багатофакторна модель

### 1. Вступ

Незважаючи на те, що існуючий рівень технологічного прогресу дозволяє на протязі між 2010 та 2030 роками на 100% збільшити використання водних ресурсів, всі прибережні країни ЄС зіткнулись з викликами, що пов'язані із повоєнними залишками вибухонебезпечних [1, 2] та хімічних [3, 4] речовин у водних акваторіях. Крім цього у всьому світі на цей час встановлено біля 70 мільйонів мін, з яких, ймовірно, 15% встановлені на мілководні ділянки внутрішніх водоймищ [5]. В Україні ці виклики усугубляються як значною кількістю вибухонебезпечних предметів на узбережжі Чорного та Азовського морів, характерним прикладом чого є Херсонська область [6], так і збільшенням вибухонебезпечних предметів, які забруднюють мирні водні акваторії внаслідок агресії Росії.

Все це свідчить про те, що проблема підвищення ефективності попередження надзвичайних ситуацій (НС), пов'язаних з підводним розташуванням вибухонебезпечних предметів, є актуальною.

### 2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Координацію зусиль та забезпечення єдиних підходів щодо підводного розмінування водних акваторій в Європі здійснює Балтійська рада з безпеки боеприпасів (BOSB) [7]. Проте в її документах, які спільно із США

конкретизовані в Міжнародному стандарті IMAS 09.60 «Підводна розвідка та знешкодження вибухових речовин» [8] і де підкреслена особлива роль водолазів-саперів, особливості забезпечення оперативної діяльності особового складу з урахуванням взаємодії достатньо специфічних факторів, які характеризують людину, середовище, а також технічні засоби, які вони використовують, не розглядаються. Як не розглядаються ці питання і в Стандартній оперативній процедурі гуманітарного підводного розмінування [9], де основна увага приділяється підготовці водолазів-саперів.

Питання передового досвіду, який використовується під час обстеження та знешкодження підводних вибухонебезпечних боєприпасів, наведені в [10], але там розглядаються тільки конкретні випадки та надається їх аналіз. Це надає національним організаціям з протимінної діяльності можливість краще зрозуміти проблеми і складності підводних обстежень і операцій з розмінування. Проте при цьому питання прогнозування результатів діяльності водолазів-саперів та подальшого управління відповідними надзвичайними ситуаціями остаються поза увагою.

В більшості наукових досліджень, де розглядаються питання управління надзвичайними ситуаціями, пов'язаними з вибухо- та хімічно небезпечними об'єктами, основна увага звертається на характеристику об'єкта та результати його обстеження [11], у тому разі підвищення оперативності інформування особового складу щодо мінної обстановки безпосередньо в районі бойової діяльності [12], оцінку ризику [13], а також потенційні проблеми, що пов'язані із здоров'ям та підготовкою особового складу піротехніків [14]. Проте і в цих випадках питання оцінки ефективності здійснення процесу підводного розмінування осталися невирішеними.

Сучасною європейською перспективою попередження НС, пов'язаних з підводним знаходженням вибухонебезпечних предметів, є застосування принципів «не підривати» [15] та перехід на реалізацію можливостей підводних роботів [16]. Але і в першому, і в другому випадку без участі спеціально підготовлених водолазів-саперів [17] не обійтись, а організація їх діяльності вимагає урахування як можливостей особового складу, так і умов, в яких вони будуть виконувати поставлені завдання, а також тактико-технічних характеристик обладнання, яке стоїть на озброєнні у відповідних підрозділах. При цьому навіть використання автономних підводних апаратів, які базуються на сенсорних технологіях, застосуванні хімічних та біометричних датчиків, спирається на підводну оперативну діяльність особового складу, залученого до виявлення підводних боєприпасів [18], що також вимагає урахування фізіологічних характеристик підводників. Це ж відмічено і в [19], де показано, що гнучкість в плануванні та виконанні підводних робіт з предметами, що не вибухнули, забезпечується залученням професіоналів у проведенні підводних робіт із застосуванням відповідних спеціальних засобів, тактико-технічні характеристики яких відповідають можливостям водолазів та умовам, в яких буде здійснюватись процес підводного розмінування. При цьому основна увага [20] на цей час приділяється пошуку та вилученню вибухонебезпечних предметів водолазами.

В той же час, конкретні розробки, наприклад [21], де розглядається управління проектами потенційно небезпечних підводних об'єктів у складі технічних, технологічних, організаційних та економічних інформаційних платформ, або [22], де розглядаються три датчика, що використовуються для виявлення та ідентифікації різних типів морських мін: гідролокатор,   
civil security. DOI: 10.52363/2524-0226-2021-34-20

градієнтометр і інфрачервона камера, обмежуються розв'язанням вузьких задач. Хоча під час обговорення проблем підводного розмінування [23] особлива увага звертається на їх комплексний характер. Ефекти взаємодії між показниками, які характеризують водолазів-саперів, умови бойової роботи та оснащення особового складу, були підтверджені і в результатах дослідження дій підводників під час пошуку вибухонебезпечних предметів [24], але вони не мали кількісної оцінки. Крім цього, питання їх підйому не розглядались. Тобто, питання багатофакторного прогнозування результатів діяльності водолазів-саперів під час підйому вибухонебезпечних предметів осталися поза увагою дослідників.

Дослідження щодо попередження та ліквідації НС на суходолі розглядали цей процес з різних сторін, але їх важко безпосередньо використати для вдосконалення робіт з підводного розмінування. Так, в [25] їх вивчали з точки зору розвитку НС, в [26] – з позицій організації робіт з ліквідації НС, в [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 за текстом такі надзвичайні ситуації позначаються ПНС), із позицій забезпечення якості функціонування системи «ПНС – спеціальні засоби підводного розмінування – водолаз-сапер». В той же час, у відповідності до методології імітаційного моделювання [28], обґрунтування пропозицій щодо підвищення ефективності таких складних систем повинно спиратись на закономірності їх функціонування в цілому.

Стосовно підводного розмінування водолазом-сапером визначити такі закономірності можна зробити за результатами аналізу відповідної математичної моделі. В [29] показано що в загальному вигляді вона уявляє собою систему із трьох аналітичних залежностей. Перша уявляє собою функціонал, який описує процес підводного розмінування у вигляді трифакторної поліноміальної моделі. Наявність поліноміальної моделі дозволяє врахувати нелінійний вплив обраних факторів, а також їх зв'язок між собою, на ефективність проведення підводного розмінування. Друга дозволяє уявити цей функціонал як сукупність однофакторних моделей. Третя забезпечує визначення вагових коефіцієнтів при вирішенні багатофакторного завдання. Проте, перевірка достовірності такої моделі для конкретних умов діяльності спеціалізованого відділення підводного розмінування групи піротехнічних робіт та спеціальних водолазних робіт не проводилась. Відповідно, не розглядались і особливості обґрунтування оперативно-технічних рекомендацій.

Таким чином, невирішеною частиною визначеної проблеми є відсутність математичної моделі підйому вибухонебезпечного предмету під час підводного розмінування водних акваторій.

### **3. Мета та завдання дослідження**

Метою дослідження є побудова багатофакторної моделі підйому вибухонебезпечного предмету водолазами-саперами.

Для досягнення поставленої мети потребують вирішення наступні завдання:

- вибір плану для проведення багатофакторного експерименту;
- отримання та оцінка вихідних даних;
- визначення параметрів багатофакторної моделі підйому вибухонебезпечного предмету водолазами-саперами;

- перевірка достовірності багатofакторної моделі підйому вибухонебезпечного предмету водолазами-саперами;
- аналіз багатofакторної моделі підйому вибухонебезпечного предмету водолазами-саперами.

#### 4. Вибір плану для проведення багатofакторного експерименту

В [29] відмічено, що має місце безліч показників, які впливають на підсумковий результат функціонування системи «ПНС – спеціальні засоби підводного розмінування – водолаз-сапер». В той же час, ми враховували побажання експертів, які залучаються до аналізу закономірності проведення підводного розгортання, не розглядати одночасно більше трьох факторів. Це вони пояснюють тим, що вплив більшої кількості факторів, які впливають на систему оцінити складно, оскільки її стан постійно та достатньо швидко змінюється.

З урахуванням того, що на процес підводного розмінування впливають вихідні показники, які характеризують множини  $X_{BC}$  (характеризують безпосередньо водолазів-саперів),  $X_{CЗПР}$  (характеризують надзвичайну ситуацію та умови проведення підводного розмінування) та  $X_C$  (характеризують сукупність технічних засобів забезпечення підводного розмінування), а також результатів аналізу особливостей проведення підводного розмінування [6], виділені такі значимі фактори, які характеризують процес підводного розмінування як системи:  $x_1$  – рівень підготовленості водолаз-сапера;  $x_2$  – рівень оснащеності;  $x_3$  – умови, в яких працює особовий склад.

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 при переході 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 говорити і про три рівні умов, в яких проводиться підводне розмінування. Гарним ( $x_2=+1$ ) відповідають гарна видимість, відсутність течії та глибина до 3 метрів. Звичайним ( $x_2=0$ ) – обмежена видимість на відстані більше 3 м, незначна течія та глибина від 3 м до 6 м, а поганим ( $x_2=-1$ ) – обмежена видимість на відстані менше 3 м, значна течія та глибина більше 6 м. Стосовно рівня оснащеності в нашому випадку на сьогоднішній день можна говорити про два рівні: використання сухого ( $x_3 = -1$ ) та мокрого ( $x_3 = +1$ ) гідрокостюмів.

При цьому очевидним є взаємозв'язок між всіма обраними факторами. Так, гірші умови проведення робіт з підводного розмінування будуть краще виконані фахівцями з більш високим рівнем підготовленості та за кращого рівня оснащеності (в мокрому гідрокостюмі).

Тобто, під час розробки багатofакторної поліноміальної моделі необхідно враховувати, що вихідні показники можуть мати нелінійний вплив на показники ефективності проведення підводного розмінування та взаємодіяти між собою. В цьому випадку нелінійний вплив факторів в поліноміальній моделі можна врахувати їх квадратичним уявленням, а ефекти взаємодії – відповідним коефіцієнтами при добутках факторів, що розглядаються.

З урахуванням вищевикладеного поліноміальна модель залежності часу підйому вибухонебезпечного предмету  $t$  від обраних для дослідження факторів  $X_{BC}$ ,  $X_{CЗПР}$ ,  $X_C$ , які конкретизують початкові перемінні

$$t = a_0 + a_1 X_{BC} + a_2 X_C + a_3 X_{C3ПР} + a_{11} X_{BC}^2 + a_2 X_C^2 + \\ + a_{12} X_{BC} X_C + a_{13} X_{BC} X_{C3ПР} + a_{23} X_C X_{C3ПР} \quad (1)$$

трансформується, оскільки обґрунтування оперативно-технічних рекомендацій доцільно [31] здійснювати за результатами аналізу залежності (1) в кодованих перемінних, що вимагає переходу обраного показника ефективності (часу підйому вибухонебезпечного предмету Т) до нормованого вигляду

$$y = \frac{t - t_{\min}}{t_{\max} - t_{\min}} \quad (2)$$

де  $t_{\max}$  – час підйому вибухонебезпечного предмету водолазом-підводником початкового рівня підготовленості ( $x_1 = -1$ ) в поганих умовах ( $x_2 = -1$ ) з використанням сухого гідрокостюму ( $x_3 = -1$ ), с;  $t_{\min}$  – час підйому вибухонебезпечного предмету водолазом-підводником високофахового рівня підготовленості ( $x_1 = +1$ ) в гарних умовах ( $x_2 = +1$ ) з використанням мокрого гідрокостюму ( $x_3 = +1$ ), с; в трифакторну поліноміальну модель виду

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

Для її отримання доцільним є вибір плану  $3 \times 3 \times 2$  проведення багатofакторного експерименту. При цьому модель (3) буде мати [31] гарні статистичні та точнісні характеристики всіх коефіцієнтів регресії  $\{b_s\}$ . В цьому випадку для реалізації обраного плану необхідно отримати 18 оцінок середнього часу підйому вибухонебезпечного предмету з глибини, які відповідають заздалегідь визначеному співвідношенню обраних факторів  $x_1$ ,  $x_2$  та  $x_3$ , а також 18 значень відповідних середньоквадратичних відхилень.

## 5. Отримання та оцінка вихідних даних

Визначення показників, що характеризують процес підйому вибухонебезпечного предмету з глибини, для всіх варіантів реалізації плану  $3 \times 3 \times 2$ , стосовно яких практично відсутні експериментальні дані щодо часу виконання, представляє значну складність. Виходячи з цього було прийнято рішення щодо їх отримання за результатами експертного оцінювання.

Час виконання окремих операцій, які становлять процес оперативної діяльності водолазів-саперів, носить імовірнісний характер, тому що залежить від безлічі важко прогнозованих факторів. У зв'язку з цим можна припустити, що розподіл випадкових значень оцінок часу, які можуть дати експерти, описується не тільки нормальним законом розподілу, який має щільність розподілу

$$f(t_i) = \frac{1}{\sigma_i \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t_i - \bar{t}_i)^2}{2\sigma_i^2}} \quad (4)$$

де  $\bar{t}_i$  – математичне очікування часу виконання  $i$ -ої операції, що розглядається, с;  
 $\sigma_i$  – середньоквадратичне відхилення, с.

Але й, у випадку, коли скошеність показника часу виконання  $i$ -ої операції  
оперативного розгортання

$$Sk_i = \frac{1}{n \cdot \sigma_i^3} \cdot \sum_{j=1}^n (t_{ji} - \bar{t}_i) \neq 0, \quad (5)$$

де  $n$  – кількість незалежних експериментів;  $t_{ji}$  – результат  $j$ -го виміру  $i$ -ої операції, с;  $\bar{t}_i$ ,  $\sigma_i$  – відповідно оцінки математичного очікування та середньоквадратичного відхилення виконання  $i$ -ої операції, с; істотно відрізняється від нуля,  $\beta$ -розподілом [32].

Застосування  $\beta$ -розподілу дозволяє використовувати метод трьох оцінок [33] для отримання основних параметрів розподілу – середнього значення (математичного очікування) і середньоквадратичного відхилення.

У цьому випадку необхідно знайти найбільш ймовірний  $\tilde{t}_j$ , мінімальний  $t_{j \min}$  та максимальний  $t_{j \max}$  часу виконання  $j$ -ого процесу. Для їх визначення кожний  $i$ -ий експерт надає відповідні індивідуальні оцінки виконання  $i$ -ої операції  $\langle t_{ij \min}, \tilde{t}_{ij}, t_{ij \max} \rangle$ . Це дозволяє усереднене очікуване значення, наприклад,  $\tilde{t}_j$  розглядати у вигляді середньовиваженої оцінки за спостереженнями всіх  $n$  експертів

$$\tilde{t}_i = \sum_{j=1}^n V_{ij}(\tilde{t}_j) \cdot \tilde{t}_{ij}, \quad (6)$$

де  $V_{ij}(\tilde{t}_j)$  – ваговий коефіцієнт  $j$ -го експерта при оцінці  $\tilde{t}_i$ , який розраховується як

$$V_{ij}(\tilde{t}_j) = \frac{1}{(\tilde{t}_{ij} - \bar{\tilde{t}}_j)^2 \cdot \sum_{i=1}^n \frac{1}{(\tilde{t}_i - \bar{\tilde{t}}_j)^2}}, \quad (7)$$

$$\text{де } \bar{\tilde{t}}_j = \frac{\sum_{i=1}^n \tilde{t}_{ij}}{n}.$$

За (6) та (7) аналогічним чином розраховуються  $t_{i \min}$  та  $t_{i \max}$ .

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

$$|\tilde{t}_{ij} - \bar{\tilde{t}}_j| \geq a \cdot \sigma_i(\tilde{t}_j), \quad (8)$$

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

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

$$\sigma_i \approx \frac{t_{i\max} - t_{i\min}}{6}, \quad (9)$$

так і параметри  $\beta$ -розподілу часу виконання  $i$ -ої комбінації обраних факторів під час підйому вибухонебезпечного предмету.

Для цього використовуються характеристики  $\beta$ -розподілу з параметрами  $\alpha > 1$  та  $\beta > 1$ , оскільки [34] в кодованих перемінних оцінка найбільш вірогідного часу виконання  $i$ -ої операції дорівнює

$$\tilde{x}_i = \frac{\tilde{t}_i - t_{i\min}}{t_{i\max} - t_{i\min}} = \frac{\alpha_i - 1}{\alpha_i + \beta_i - 2}, \quad (10)$$

а дисперсія цієї оцінки

$$\sigma^2(x_i) = \frac{\alpha_i \cdot \beta_i}{(\alpha_i + \beta_i)^2 \cdot (\alpha_i + \beta_i + 1)}. \quad (11)$$

З урахуванням переходу від кодованих перемінних до натуральних експертна оцінка математичного очікування часу виконання  $i$ -ої комбінації обраних факторів під час підйому вибухонебезпечного предмету

$$\bar{t}_i = t_{i\min} + \frac{\alpha_i}{\alpha_i + \beta_i} \cdot (t_{i\max} - t_{i\min}). \quad (12)$$

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

По аналогії з [35] для цього може використовуватись показник скошеності (5) розподілу часу виконання процесу та мода, в якості якої використовується найбільш ймовірний час виконання даної операції (6), оскільки можуть мати місце випадки, коли оцінки найбільш ймовірного часу виконання процесу у окремих експертів різко відрізняються від таких же оцінок інших фахівців. У зв'язку з цим по кожному  $i$ -ому процесу необхідно перевіряти узгодженість думок експертів по тому, в якому місці інтервалу  $[t_{i\min}; t_{i\max}]$  знаходиться найбільш ймовірний 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 ( $m=3$ ) наступним 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 затрудняється у

визначенні і встановлює оцінку в середині діапазону ( $\tilde{x}_j \approx 0,5$ ), приймається  $v_1 = v_2 = v_3 = 2$ . Тобто, умова ранжування може бути записана як

$$\{v_1, v_2, v_3\} = \begin{cases} \{1, 2, 3\}, & \text{якщо } \bar{x}_j < 0.5; \\ \{3, 2, 1\}, & \text{якщо } \bar{x}_j > 0.5; \\ \{2, 2, 2\}, & \text{якщо } \bar{x}_j \approx 0.5. \end{cases} \quad (13)$$

Крім того, прийнято такі позначення:  $q$  – кількість суперечливих оцінок, тобто тих, в яких відрізняється місце найбільш вірогідного часу виконання операції в порівнянні з місцем, яке вказує основна група експертів;  $p$  – кількість оцінок, в яких експерти не змогли вказати місце найбільш вірогідного часу виконання операції (у разі, коли всі експерти в якості найбільш ймовірного результату вказують середину діапазону, вважаємо  $q = p = 0$ ). В такому випадку узгодженість думок експертів оцінюється за допомогою коефіцієнта конкордації  $W$  [34], 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

$$S = \sum_{i=1}^m \left\{ \sum_{j=1}^n v_{ij} - \frac{n}{2} \cdot n \cdot (m+1) \right\}^2, \quad (14)$$

де  $n$  – кількість експертів в групі;  $m$  – кількість можливих показників (в 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

$$S_{\max} = \frac{1}{12} \cdot m \cdot n^2 \cdot (m^2 - 1), \quad (15)$$

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

$$W = \frac{S}{S_{\max}} = \frac{12 \cdot S}{n^2 (m^3 - m)} = \frac{S}{2 \cdot n^2}. \quad (16)$$

Отримане значення коефіцієнту конкордації  $W$  дозволяє оцінити не випадкову узгодженість експертів, використовуючи критерій  $\chi^2$  з відповідним рівнем значимості  $\alpha$ .

На практиці метод безпосередньої експертної оцінки досить часто реалізується на основі оцінок від чотирьох до восьми спеціалістів. Для такої ситуації в [36] показано, що розрахунковий коефіцієнт конкордації більше допустимого у випадку



$$W \geq W_{\text{доп}} (\alpha = 0,05), \text{ якщо } \begin{cases} p = 0, q = 0 \text{ при } n \geq 4; \\ p = 1, q = 0 \text{ при } n \geq 5; \\ p = 0, q = 1 \text{ при } n \geq 7; \\ p = 1, q = 1 \text{ при } n \geq 8. \end{cases} \quad (17)$$

при рівні значущості  $\alpha=0,05$  не випадкова узгодженість в думках експертів існує як в тих випадках, коли при  $n = 4 \div 8$  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  $\tilde{t}_i$  при  $n > 4$  або є одна суперечлива оцінка при  $n > 6$ . У разі залучення до експертної групи 8 фахівців (а саме така ситуація мала місце в нашому випадку) допускається по одній суперечливою оцінці і одній оцінці без уточнення місця знаходження.

Використання (4)-(17) дозволило отримати (в табл. 1 наведено приклад отримання відповідних оцінок за результатами, які надали експерти для ситуації з найгіршим поєднанням факторів) вихідні дані у відповідності до обраного плану  $3 \times 3 \times 2$  (табл. 2).

Таким чином, застосування методу безпосередніх експертних оцінок дозволило отримати статистично значимі показники часу підйому вибухонебезпечного предмету у відповідності до обраного плану  $3 \times 3 \times 2$ .

## 6. Визначення параметрів багатфакторної моделі підйому вибухонебезпечного предмету водолазами-саперами

Наявність результатів багатфакторного експерименту у відповідності до плану  $3 \times 3 \times 2$  (табл. 2) дозволяє перейти до отримання трифакторної поліноміальної моделі (3) підйому вибухонебезпечного предмету водолазами-саперами, але для цього необхідно перейти до нормованого у відповідності до (2) подання вихідних даних (табл. 3).

Табл. 1. Результати аналізу експертних оцінок для ситуації з найгіршим поєднанням факторів

Показник	Експерт							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$t_{j \min}, \text{XB.}$	12	11	13	11	10	10	11	10
$t_{j \min}, \text{c}$	720	660	780	660	600	600	660	600
$\tilde{t}_j, \text{XB.}$	15	15,5	15,75	14,5	15,25	16,333	15	15,5
$\tilde{t}_j, \text{c}$	900	930	945	870	915	980	900	930
$t_{j \max}, \text{XB.}$	20	19	20	19	20	20	19	18
$t_{j \max}, \tilde{n}$	1200	1140	1200	1140	1200	1200	1140	1080
$\tilde{x}_i$	0,375	0,5625	0,3929	0,4375	0,525	0,6333	0,5	0,6875
$v$	2	2	2	2	2	2	2	3
$W$	$W \geq W_{\text{доп}} (\alpha = 0,05)$ – має місце не випадкова узгодженість експертів, розподіл часу підйому вибухонебезпечного предмету за найгіршого поєднання факторів може розглядатись як нормальний, оскільки не має скошеного характеру							
$\tilde{t}_{(-1,-1,-1)}, \text{c}$	921,49							
$\sigma_{(-1,-1,-1)}, \text{c}$	81,22							

Табл. 2. Результати експертного оцінювання розглянутих у відповідності до плану 3x3x2 варіантів підйому вибухонебезпечного предмету

Варіант підйому	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$x_1$	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0
$x_2$	-1	-1	0	0	1	1	-1	-1	0
$x_3$	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1
$\tilde{t}, c$	921	891	762	731	684	646	861	794	663
$\sigma_{.c}$	81	81	79	78	75	73	72	70	65
Варіант підйому	10	11	12	13	14	15	16	17	18
$x_1$	0	0	0	1	1	1	1	1	1
$x_2$	0	1	1	-1	-1	0	0	1	1
$x_3$	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1
$\tilde{t}, c$	604	552	493	841	762	622	537	479	395
$\sigma_{.c}$	68	54	55	65	68	63	59	54	50

Табл. 3. Результати експертного оцінювання розглянутих у відповідності до плану 3x3x2 варіантів підйому вибухонебезпечного предмету у нормованому вигляді

Варіант підйому	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$x_1$	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0
$x_2$	-1	-1	0	0	1	1	-1	-1	0
$x_3$	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1
$\tilde{X}$	1,000	0,938	0,694	0,635	0,546	0,474	0,881	0,754	0,507
$\sigma_{\tilde{x}}$	0,135	0,129	0,126	0,125	0,122	0,121	0,119	0,115	0,112
Варіант підйому	10	11	12	13	14	15	16	17	18
$x_1$	0	0	0	1	1	1	1	1	1
$x_2$	0	1	1	-1	-1	0	0	1	1
$x_3$	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1
$\tilde{X}$	0,395	0,297	0,185	0,843	0,694	0,429	0,268	0,159	0,000
$\sigma_{\tilde{x}}$	0,111	0,111	0,109	0,108	0,108	0,106	0,105	0,102	0,101

Упорядкування результатів багатофакторного експертного моделювання таким чином, що найгірші показники відповідають рівню "-1-1-1", а найкращі – "+1+1+1", дозволяє суттєво спростити побудову конкретних поліноміальних моделей, які необхідно знайти, оскільки в результаті цього під час розрахунку оцінок коефіцієнтів  $b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii}$  можна використовувати [38] готові формули

$$b_0 = A_0(0Y) - \sum A_{0i}(ii0Y); \quad (18)$$

$$b_i = A_i(iY); \quad (19)$$

$$b_{ij} = A_{ij}(ijY); \quad (20)$$

$$b_{ii} = A_{ii}(iiY) - A_{0i}(0Y), \quad (21)$$

де  $A_0, A_{0i}, A_i, A_{ij}, A_{ii}$  – постійні для розрахунку коефіцієнтів регресії при симетричних планах;  $0Y, iiY, iY, ijY$  – суми результатів експертних оцінок в табл. 3.

Це дозволило за отриманими результатами (табл. 3), використовуючи (18)-(21), розрахувати коефіцієнти трифакторної квадратичної моделі (3), які встановлюють кількісний зв'язок між часом підйомом вибухонебезпечного предмету (в нормованих перемінних) та обраними факторами

$$y_{\text{підйом}} = 0,449 - 0,158 \cdot x_1 - 0,285 \cdot x_2 - 0,057 \cdot x_3 + 0,054 \cdot x_1^2 + 0,077 \cdot x_2^2 - 0,059 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,021 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,004 \cdot x_2 \cdot x_3 \quad (22)$$

Наявність моделі (22) дозволяє отримати оцінки середнього часу підйому вибухонебезпечного предмету водолазом-сапером у відповідності до визначеного співвідношення обраних факторів, здійснивши зворотній перехід у відповідності до (2)

$$t(x_1, x_2, x_3) = y_{\text{підйом}}(x_1, x_2, x_3) \cdot [\tilde{t}(-1, -1, -1) - \tilde{t}(+1, +1, +1)] + \tilde{t}(+1, +1, +1). \quad (23)$$

Таким чином, отримано багатфакторну модель підйому вибухонебезпечного предмету водолазами-саперами у вигляді три факторного квадратичного поліному, коефіцієнти якого встановлюють кількісний зв'язок між рівнем підготовленості особового складу, зовнішніми умовами, в яких він працює, та спорядженням рятувальників.

## 7. Перевірка достовірності багатфакторної моделі підйому вибухонебезпечного предмету водолазами-саперами

Перевірка достовірності багатфакторної моделі підйому вибухонебезпечного предмету водолазами-саперами (22) проводилась шляхом порівняння результатів, отриманих у відповідності до (23), з результатами реального підйому вибухонебезпечних предметів особовим складом відділення підводного розмінування групи піротехнічних робіт та спеціальних водолазних робіт аварійно-рятувального загону спеціального призначення Головного управління ДСНС України у Херсонській області.

Для цього в червні-липні 2021 року було зафіксовано час підйому вибухонебезпечних предметів (німецька протитанкова міна Т.Мі.42 – 1 одиниця; німецька вистрибуюча міна S-mine – 1 одиниця; артилерійський снаряд 45 мм – 2 одиниці) за наступних ситуацій:

1. Начальник відділення підводного розмінування ГПР та СВР АРЗ СП ГУ ДСНС України у Херсонській області, майор служби цивільного захисту Соловйов Ігор Ігорович, водолаз 1 класу I-II групи спеціалізації робіт, 21.06.2021 року, гідрокостюм сухого типу Santi Enduro, Херсонський район, р. Дніпро в районі залізничного мосту, умови: глибина – 6 м, течія – 0,2 м/с, видимість – 0,5 м, температура води 23°, температура повітря – 31°, ґрунт – мул, сила вітру – 1 бал, хвилювання поверхні води – 2 бали. Час підйому – 14 хвилин. Така ситуація підйому вибухонебезпечного предмету відповідає варіанту співвідношення факторів  $\{x_1, x_2, x_3\} = \{+1, -1, -1\}$ .

2. Старший водолаз-сапер відділення підводного розмінування ГПР та СВР АРЗ СП ГУ ДСНС України у Херсонській області, старший прапорщик служби цивільного захисту Погорелий Володимир Миколайович, водолаз 2 класу I-II групи спеціалізації робіт, 23.06.2021 року, гідрокостюм мокрого типу Aqua Lung Sharm Safaga, Херсонський район, р. Дніпро в районі залізничного мосту, умови:

глибина – 7 м, течія – 0,1 м/с, видимість – 1 м, температура води 23°, температура повітря – 29°, ґрунт – мул, сила вітру – 1 бал, хвилювання поверхні води – 1 бал. Час підйому – 12 хвилин 30 с. Така ситуація підйому вибухонебезпечного предмету відповідає варіанту співвідношення факторів  $\{x_1, x_2, x_3\} = \{0, -1, +1\}$ .

3. Водолаз-сапер відділення підводного розмінування ГПР та СВР АРЗ СП ГУ ДСНС України у Херсонській області, прапорщик служби цивільного захисту Ходаковський Олександр Геннадійович, водолаз 2 класу I-II групи спеціалізації робіт, 23.06.2021 року, гідрокостюм сухого типу Santi Enduro, Херсонський район, р. Дніпро в районі залізничного мосту, умови: глибина – 6 м, течія – 0,1 м/с, видимість – 0,7 м, температура води 24°, температура повітря – 33°, ґрунт – мул, сила вітру – 2 бали, хвилювання поверхні води – 1 бал. Час підйому – 13 хвилин 30 с. Така ситуація підйому вибухонебезпечного предмету відповідає варіанту співвідношення факторів  $\{x_1, x_2, x_3\} = \{0, -1, +1\}$ .

4. Фельдшер відділення підводного розмінування ГПР та СВР АРЗ СП ГУ ДСНС України у Херсонській області, прапорщик служби цивільного захисту Ковтуненко Олександр Валентинович, водолаз 3 класу I-II групи спеціалізації робіт, 16.07.2021 року, гідрокостюм мокрого типу Cressi Divers, Херсонський район, р. Дніпро в районі залізничного мосту, умови: глибина – 4 м, течія – 0,1 м/с, видимість – 1 м, температура води 24°, температура повітря – 31°, ґрунт – мул, сила вітру – 1 бал, хвилювання поверхні води – 1 бал. Час підйому – 15 хвилин. Така ситуація підйому вибухонебезпечного предмету відповідає варіанту співвідношення факторів  $\{x_1, x_2, x_3\} = \{-1, -1, +1\}$ .

Наявність натурних результатів дозволила перевірити укладання натурних результатів (часу підйому вибухонебезпечного предмету) в умовах, які відповідають конкретній комбінації обраних факторів, в довірчі інтервали, що розраховані з надійністю 0,95 за результати моделювання у відповідності до (22), (23) за тієї ж комбінації обраних факторів

$$t(x_1, x_2, x_3) = \tilde{t} \pm 1,96 \cdot \frac{\sigma(x_1, x_2, x_3)}{\sqrt{n}}, \quad (24)$$

де  $n=8$  – кількість експертів, за оцінками яких визначались середньозважені оцінки середнього часу та середньоквадратичного відхилення у відповідності до обраної комбінації значимих факторів під час підйому вибухонебезпечного предмету.

Порівняння отриманих результатів (табл. 4) показує, час підйому вибухонебезпечного предмету особовим складом відділення підводного розмінування групи піротехнічних робіт та спеціальних водолазних робіт під час підводного розмінування (рядок 3 табл. 4) укладається в довірчі інтервали (рядки 4 та 5 табл. 4), які розраховані з надійністю 0,95.

**Табл. 4. Порівняння натурних експериментів з розрахунковими результатами**

1	Ситуація	1	2	3	4
2	Співвідношення факторів $\{x_1, x_2, x_3\}$	+1, -1, -1	0, -1, +1	0, -1, +1	-1, -1, +1
3	$t_{\text{під}}$ , с (хв.) (натурний результат)	840 (14)	750 (12,5)	810 (13,5)	900 (15)
4	$t_{\text{під max}}$ , с (розрахунковий)	947,13	842,51	842,51	936,04
5	$t_{\text{під min}}$ , с (розрахунковий)	834,87	745,49	745,49	845,96

Таким чином, результати, які були визначені за допомогою трифакторної поліноміальної моделі (22) підйому вибухонебезпечного предмету водолазами-саперами, співпадають з результатами натурних експериментів та укладаються в довірчі інтервали, які розраховані з надійністю 0,95, що підтверджує надійність розробленої математичної моделі підводного розмінування під час ліквідації відповідної надзвичайної ситуації.

### 8. Аналіз багатфакторної моделі підйому вибухонебезпечного предмету водолазами-саперами

Перевірка гіпотези однорідності ряду дисперсій по  $\sigma$ -критерію Кохрена [34]

$$Kh = \frac{(\sigma_u^2)_{\max}}{\sum_{n=1}^n \sigma_n^2} = \frac{0,024}{0,297} = 0,081, \quad (22)$$

де  $(\sigma_u^2)_{\max}$  – максимальна дисперсія в ряду, що розглядається;  $n=18$  – кількість точок обраного плану  $3 \times 3 \times 2$ : оскільки при рівні ризику  $\alpha = 0,05$ , числі ступенів свободи  $f_1 = 18 - 1 = 17$  та  $n = 18$  табличне значення  $\sigma_{\text{табл}} = 0,122$ , тобто  $\sigma < \sigma_{\text{табл}}$ , підтвердила її правдоподібність. Це дозволяє під час подальшого аналізу можна користуватись середньої нормованою дисперсією отриманих експертних оцінок

$$\sigma_{\bar{x}}^2 = \frac{1}{18} \cdot \sum_{n=1}^{18} \sigma_n^2 \approx 0,165. \quad (23)$$

Так, для розрахунку значень дисперсій оцінок отриманих коефіцієнтів також можна використовувати готові [31] вирази

$$\sigma_{\bar{x}} \{b_0\} = A_0 \cdot \sigma_{\bar{x}} = 0,5022 \cdot 0,165 = 0,204; \quad (24)$$

$$\sigma_{\bar{x}} \{b_i\} = A_i \cdot \sigma_{\bar{x}} = 0,3333 \cdot 0,165 = 0,136; \quad (25)$$

$$\sigma_{\bar{x}} \{b_{ij}\} = A_{ij} \cdot \sigma_{\bar{x}} = 0,2887 \cdot 0,165 = 0,117; \quad (26)$$

$$\sigma_{\bar{x}} \{b_{ii}\} = A_{ii} \cdot \sigma_{\bar{x}} = 0,4082 \cdot 0,165 = 0,166, \quad (27)$$

які застосовуються для обчислювання відповідних критичних значень

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

де  $t$  береться по таблицям [31] при обраному рівні значимості  $\alpha$  та числі ступенів свободи  $f=n=18$ .

В табл. 5 показані розраховані за (28) критичні значення коефіцієнтів для моделі (22).

Табл. 5. Критичні значення коефіцієнтів моделі (22)

$\alpha$	0,01	0,05	0,1	0,2
t	2,552	1,734	1,33	0,862
$b_{0\text{кр}}$	0,1475	0,1002	0,0769	0,0498
$b_{i\text{кр}}$	0,0979	0,0665	0,0510	0,0331
$b_{ij\text{кр}}$	0,0848	0,0576	0,0442	0,0286
$b_{ii\text{кр}}$	0,1199	0,0815	0,0625	0,0405

Отримані значення (28) дозволяють при кожному рівні ризику  $\alpha$  побудувати та проаналізувати графи зв'язку між факторами. На рис. 1 показані такі графи при зростаючому ризику для моделі (22).

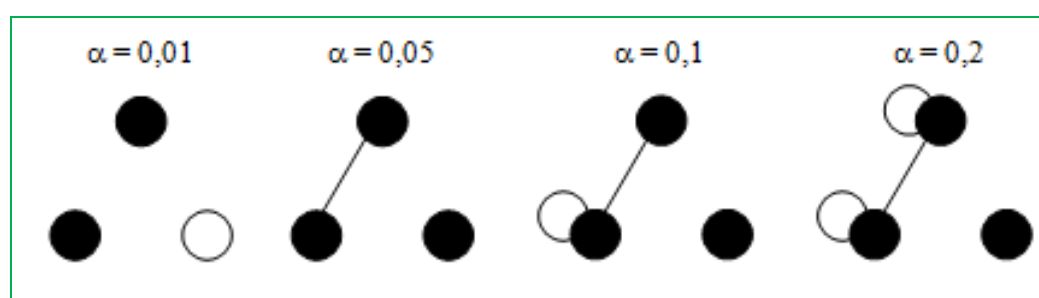


Рис. 1. Аналіз графів зв'язку між трьома факторами  $x_i$  за різного рівня відхилення правильної гіпотези (чорним кольором зафарбовані значущі лінійні ефекти, петля – значущий квадратичний ефект, ребра графа – значущими є ефекти взаємодії)

Видно (рис. 2), що при рівні значимості двостороннього ризику  $\alpha=0,01$  можна говорити, що на час підйому вибухонебезпечного предмету особовим складом ДМНС України тільки рівень підготовленості  $x_1$  та умови проведення підводного розмінування  $x_2$ .

В той же час з рівнем значимості  $\alpha=0,05$  можна стверджувати, що під час розробки оперативно-технічних рекомендацій водолазам-саперам необхідно додатково враховувати як тип водолазного костюму  $x_3$ , так і ефекти взаємодії між рівнем підготовленості особового складу та умовами, в яких вони працюють. В той же час можна не враховувати ефекти взаємодії умов підйому вибухонебезпечного предмету з тим, в якому костюмі працюють водолази сапери, а також квадратичний ефект від застосування сухого чи мокрого костюму. Слід очікувати, що у випадку підйому вибухонебезпечного предмету підвищення рівня підготовленості більш сильно буде проявлятися у водолазів-саперів з первинним рівнем, як і те, що саме для них на зниження ефективності підводного розмінування будуть впливати погані зовнішні умови роботи. Видно (рис. 2), тим більш що в [31] відмічено, що під час проведення пошукових досліджень, а дослідження систем «людина – техніка – середовище» відносяться саме до таких [36], можна давати висновки з рівнем значимості до 0,2, – підвищену увагу потрібно звернути на підготовку водолазів-саперів до роботи в складних умовах та на планування оперативної діяльності спеціалізованого піротехнічного підрозділу.

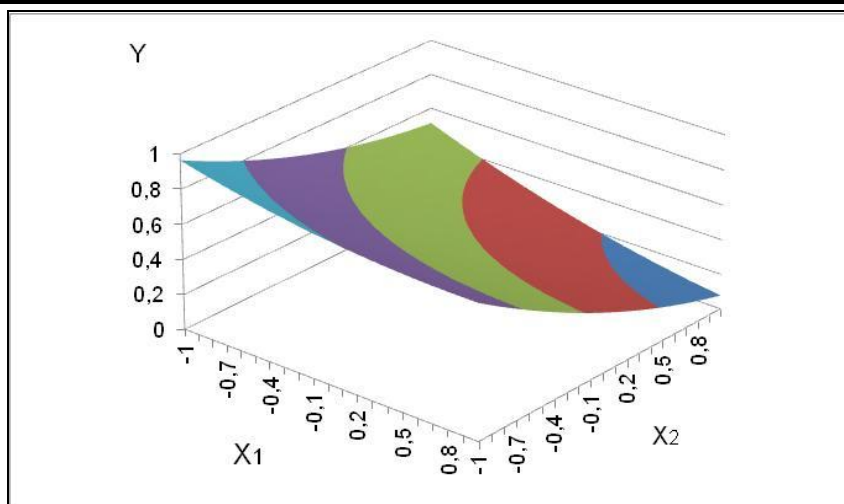


Рис. 2. Залежність (в кодovаних перемінних) часу підйому вибухонебезпечного предмету від рівня підготовки водолазів-саперів та умов, в яких вони працюють

Також видно, що є велика необхідність у застосуванні новітніх технічних рішень, щоб зменшити вплив поганих умов підводного розмінування. За результатами використання у 2021 році спеціально створеного «кошика» (рис. 3, 4) наразі розраховуються вихідні дані для створення відповідної нової математичної моделі та оцінки ефективності розроблених оперативно-технічних рекомендацій. Первинний аналіз свідчить про значний ефект від застосування такого «кошика».



Рис. 3. Використання спеціалізованого технічного приладу під водою



Рис. 4. Використання спеціалізованого технічного приладу на борту теплохода піротехнічної

Таким чином, аналіз отриманої багатофакторної моделі підйому вибухонебезпечного предмету водолазами-саперами відділення підводного розмінування групи піротехнічних робіт та спеціальних водолазних робіт показало з рівнем значимості двостороннього ризику  $\alpha=0,05$ , що під час розробки оперативно-технічних рекомендацій водолазам-саперам ДСНС України необхідно враховувати всі обрані фактори (рівень підготовленості особового складу  $x_1$ , умови проведення підводних робіт  $x_2$  та тип водолазного костюму  $x_3$ ), а також ефекти взаємодії між рівнем підготовленості особового складу та умовами, в яких вони працюють. В той же час можна не враховувати ефекти взаємодії умов підйому вибухонебезпечного предмету з тим, в якому костюмі працюють водолази сапери, а також квадратичний ефект від застосування сухого чи мокрого костюму. Слід очікувати, що у випадку підйому вибухонебезпечного предмету підвищення рівня підготовленості більш сильно буде проявлятися у водолазів-саперів з первинним рівнем, як і те, що саме для них на зниження ефективності підводного розмінування будуть сильніше впливати погані зовнішні умови роботи.

### **9. Обговорення результатів багатофакторної моделі підйому водолазом-сапером вибухонебезпечного предмету**

Сильною стороною отриманих результатів є побудова з рівнем значимості  $\alpha=0,05$  багатофакторної моделі підйому вибухонебезпечного предмету водолазами-саперами у вигляді трифакторного квадратичного поліному, коефіцієнти якого не тільки характеризують рівень підготовленості особового складу, зовнішні умови, в яких він працює, та спорядження рятувальників, але й їх нелінійний вплив та ефекти взаємодії. Аналіз такої моделі дозволив визначити конкретні практичні рекомендації.

Слабкою стороною застосування обраного підходу є необхідність отримання нових вихідних даних у разі, наприклад, дозволу водолазів-саперів працювати на глибині більше ніж 10 м або у разі використання запропонованого «кошика». Такі обмеження в побудові нової багатофакторної моделі викликані необхідністю отримання експертних оцінок висококваліфікованих фахівців підводного розмінування, що одночасно мають знання та навички як в практиці розмінування водних акваторій, так і в організації експериментальних досліджень. Крім цього суттєвим обмеженням розробленого підходу до отримання конкретної моделі є можливість його застосування тільки для апаратів на стисненому повітрі, коли вони використовуються на незначних глибинах.

В процесі розробки оперативно-технічних рекомендацій водолазам-саперам ДСНС України необхідно враховувати всі обрані фактори (рівень підготовленості особового складу  $x_1$ , умови проведення підводних робіт  $x_2$  та тип водолазного костюму  $x_3$ ), а також ефекти взаємодії між рівнем підготовленості особового складу та умовами, в яких вони працюють. В той же час можна не враховувати ефекти взаємодії умов підйому вибухонебезпечного предмету з тим, в якому костюмі працюють водолази сапери, а також квадратичний ефект від застосування сухого чи мокрого костюму. Слід очікувати, що у випадку підйому вибухонебезпечного предмету підвищення рівня підготовленості більш сильно буде проявлятися у водолазів-саперів з первинним рівнем, як і те, що саме для них на зниження ефективності підводного розмінування будуть сильніше впливати погані зовнішні умови роботи.

Під час проведення пошукових досліджень підвищену увагу потрібно звернути на підготовку водолазів-саперів до роботи в складних умовах та на планування оперативної діяльності спеціалізованого піротехнічного підрозділу, а також



використання новітніх технічних засобів забезпечення підводного розмінування. Загрозою, яка може мати місце в процесі здійснення обраного підходу є те, що невірна експертна оцінка може призвести як до значного завищення очікуваною оцінки часу підйому вибухонебезпечного предмету (у разі перестрашування), так і до людських жертв (у разі недостатньої уваги питанням безпеки). Тобто, під час обрання експертів потрібно звернути увагу на те, щоб всі вони були високо фаховими спеціалістами саме у підводному розмінуванні.

## 10. Висновки

1. Для отримання багатофакторної моделі підйому вибухонебезпечного предмету водолазом-сапером з глибини доцільно провести багатофакторний експеримент у відповідності до плану  $3 \times 3 \times 2$ . При цьому така модель буде мати гарні статистичні та точнісні характеристики всіх коефіцієнтів регресії. Для реалізації обраного плану необхідно отримати 18 оцінок середнього часу підйому вибухонебезпечного предмету з глибини, які відповідають заздалегідь визначеному співвідношенню обраних факторів, а також 18 значень відповідних середньоквадратичних відхилень.

2. Оскільки визначення експериментальних даних, які характеризують часімовірнісні характеристики процесу підйому вибухонебезпечного предмету з глибини, для всіх варіантів реалізації плану  $3 \times 3 \times 2$ , представляє значну складність, необхідні для отримання шуканої моделі вихідні показники можна отримати за результатами експертного оцінювання. При цьому отримання статистично значимих показників часу підйому вибухонебезпечного предмету у відповідності до обраного плану забезпечує застосування методу безпосередніх експертних оцінок.

3. Отримано багатофакторну модель підйому вибухонебезпечного предмету водолазами-саперами у вигляді три факторного квадратичного поліному, коефіцієнти якого встановлюють кількісний зв'язок між рівнем підготовленості особового складу (початковий, фаховий або високо фаховий, що відповідає рівню водолазів-саперів, які мають 1 клас або є Майстрами своєї справи), зовнішніми умовами, в яких він працює (гарні – у випадку, коли мають місце гарна видимість, відсутність течії та глибина до 3 м; звичайні – обмежена видимість на відстані більше 3 м, незначна течія та глибина від 3 м до 6 м; погані – обмежена видимість на відстані менше 3 м, значна течія та глибина більше 6 м), та спорядженням (сухий або мокрий гідрокостюм) рятувальників.

4. Результати, які були визначені за допомогою трифакторної поліноміальної моделі підйому вибухонебезпечного предмету з глибини до 10 м водолазами-саперами ДСНС України, які працюють в апаратах на стисненому повітрі, співпадають з результатами натурних експериментів та укладаються в довірчі інтервали, які розраховані з надійністю 0,95, що підтверджує надійність розробленої математичної моделі підводного розмінування під час ліквідації відповідної надзвичайної ситуації.

5. Аналіз отриманої багатофакторної моделі підйому вибухонебезпечного предмету водолазами-саперами відділення підводного розмінування групи піротехнічних робіт та спеціальних водолазних робіт показало з рівнем значимості двостороннього ризику  $\alpha=0,05$ , що під час розробки оперативно-технічних рекомендацій водолазам-саперам ДСНС України необхідно враховувати всі обрані фактори (рівень підготовленості особового складу, умови проведення підводних робіт та тип водолазного костюму), а також ефекти взаємодії між рівнем підгото-

вленості особового складу та умовами, в яких вони працюють. В той же час можна не враховувати ефекти взаємодії умов підйому вибухонебезпечного предмету з тим, в якому костюмі працюють водолази сапери, а також квадратичний ефект від застосування сухого чи мокрого костюму. Слід очікувати, що у випадку підйому вибухонебезпечного предмету підвищення рівня підготовленості більш сильно буде проявлятися у водолазів-саперів з первинним рівнем, як і те, що саме для них на зниження ефективності підводного розмінування будуть сильніше впливати погані зовнішні умови роботи.

Під час проведення подальших досліджень підвищену увагу потрібно звернути на підготовку водолазів-саперів до роботи в складних умовах та на планування оперативної діяльності спеціалізованого піротехнічного підрозділу, а також використання новітніх технічних засобів забезпечення підводного розмінування.

### Література

1. Torsten F., Jacek B., Edmund M. Explosive Ordnance in the Baltic Sea: New Tools for Decision Makers // *The Journal of Conventional Weapons Destruction*. 2020. № 23. Is. 3. Art. 11. URL: <https://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol23/iss3/11>
2. Gledhill B. A.J., Schlosser M., Stamer C., Böttcher B., Sternheim C., Greinert J., Achterberg E. Spread, Behavior and Ecosystem Consequences of Conventional Munitions Compounds in Coastal Marine Waters // *Frontiers in Marine Science*. 2018. № 5. P. 141. doi: 10.3389/fmars.2018.00141
3. Ong, Caroline O., Chapman T., Zilinskas R., Brodsky B. Newman J. Chemical Weapons Munitions Dumped at Sea: An Interactive Map. // James Martin Center for Non-proliferation Studies. 2013. URL: [http://cns.miiis.edu/stories/090806\\_cw\\_dumping.htm](http://cns.miiis.edu/stories/090806_cw_dumping.htm)
4. Terrance P. L. An International Overview of Sea Dumped Chemical Weapons: The Way Forward // *Conventional Weapons Convention Coalition*. 2013. URL: <http://www.cwccoalition.org/wp-content/uploads/2010/12/longpaper.pdf>
5. Matika D., Barić S. Maritime environmental security // *Scientific Journal of Maritime Research*. 2016. № 30. P. 19–27. URL: [Down-loads/357\\_16\\_1\\_Matika\\_Baric.pdf](http://www.sjmr.hr/Down-loads/357_16_1_Matika_Baric.pdf)
6. Соловійов І. І., Стрілець В. М. Проблемні питання виконання робіт з підводного розмінування. Енергозбереження та промислова безпека: виклики та перспективи. Третя міжнародна науково-практична конференція. Київ: КПІ, ННДІ ПБтаОП. 2020. С. 225–231.
7. Gunnar M. 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*. November/December 2011. № 45 9(6). P. 26-34. doi: 10.4031/MTSJ.45.6.1
8. 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\\_Survey\\_and\\_Clearance\\_of\\_Explosive\\_Ordnance\\_EO\\_.pdf](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)
9. Standard Operating Procedures for Humanitarian Underwater Demining in South Eastern Europe. 2021. URL: <https://old.mineactionstandards.org/fileadmin/MAS/documents/references-publications/Humanitarian-Underwater-Demining-in-South-Eastern-Europe.pdf>

10. Humanitarian Demining, Geneva International Centre for, «A Guide to Survey and Clearance of Underwater Explosive Ordnance». 2016. Global CWD Repository. 1326. URL: <https://commons.lib.jmu.edu/cisr-globalcwd/1326>
11. Kampmeier M., Eefke M. van der Lee, UweWichert, Greinert J. Exploration of the munitions dumpsite Kolberger Heide in Kiel Bay, Germany: Example for a standardised hydroacoustic and optic monitoring approach // *Continental Shelf Research*. Vol. 15 July 2020. № 198. 104108. doi: 10.1016/j.csr.2020.104108
12. Коцюруба В., Цыбуля С., Рыбалко В. Обоснование применения метода воздушной разведки района интенсивного применения минного оружия // *Журнал научных трудов. Социальное развитие и безопасность*, 2019. № 9(1). С. 60–68. doi: 10.33445/sds.2019.9.1.5
13. Windeye S. S., Charles T., Michael; Conrod M. S., Stephenson M., Site Assessment and Risk Management Framework for Underwater Munitions // *Marine Technology Society Journal*. Number 4, 2009. № 43. P. 41–51. doi: 10.4031/MTSJ.43.4.10
14. The British Army – Commando Engineer Diver // UK Ministry of Defence. 17 April 2017. URL: <https://www.army.mod.uk/who-we-are/corps-regiments-and-units/corps-of-royal-engineers>
15. Huet C., Mastroddi F. Autonomy for underwater robots – a European perspective // *Auto Robot*. 2016. № 40. P. 1113–1118. doi: 10.1007/s10514-016-9605-x
16. Cooper N., Cooke S, Burgess K. 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
17. Mijajlovic V. The Regional Center for Divers Training and Underwater Demining // *The Journal of ERW and Mine Action*. 2013. № 17. Is. 2. Art. 13. URL: <https://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol17/iss2/13>
18. Camilli R., Bingham B. S., Jakuba M. V., Duryea A. N., LeBouvier R., Dock M. AUV Sensors for Real-Time Detection, Localization, Characterization, and Monitoring of Underwater Munitions // *Marine Technology Society Journal*. 2009. № 43. P. 76–84. doi: 10.4031/MTSJ.43.4.6
19. Herbert J. Risk Mitigation of Chemical Munitions in a Deep-Water Geohazard Assessment // *Marine Technology Society Journal*. 2010. № 44(1). P. 86–96. doi: 10.4031/MTSJ.44.1.4
20. Rancich T. Search and Recovery of Munitions by Divers // *Marine Technology Society Journal*. 2011. № 45(6). P. 75–79. doi: 10.4031/MTSJ.45.6.9
21. 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
22. Tellez O. L. L., Borghgraef A., Mersch E. The Special Case of Sea Mines, Mine Action // *The Research Experience of the Royal Military Academy of Belgium*, Charles Beumier, Damien Closson, Vinciane Lacroix, Nada Milisavljevic and Yann Yvinec, IntechOpen. 2017. doi: 10.5772/66994
23. International Symposium Mine Action. 2019. Slano, Croatia. URL: <http://www.ctro.hr/wp-content/uploads/2019/04/Knjiga-za-web-4-mb.pdf>
24. Olasunkanmi H. O. Spatial analysis of disaster statistics in selected cities of Nigeria. // *International Journal of Emergency Management*. 2019. № 15(4). P. 299–315. doi: 10.1504/IJEM.2019.104195

25. Treurniet W., Boersma K., Groenewegen P. Configuring emergency response networks // *International Journal of Emergency Management*. 2019. № 15(4). P. 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*. 2019. № 28 (1). P. 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. № 28(6). P. 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*. № 3(16). Харьков: ХНТУРЭ, 2001. С. 125–128.

29. Афанасьєва О., Соловійов І., Стрілець В. Математична модель підводного розмінування вибухонебезпечного предмету. // *Інформація та безпека суспільства (Information and Public Safety)*. 2021-2-5. DOI: <https://doi.org/10.53029/2786-4529-2021-2-5>

30. Соловійов І. І., Стецюк Є. І., Стрілець 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. Вознесенский В. А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях. М.: Финансы и статистика, 1981. 263 с.

32. Стрелец В. М. Применение экспертного метода для непосредственной оценки результатов деятельности // *Информационные системы*. НАНУ, ПАНИ, ХВУ. Вып. 2(10). X., 1998. С.165–168.

33. Бешелев С. Д., Гурвич Ф. Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. М.: Статистика, 1974. 264 с.

34. Митропольский А. К. Техника статистических вычислений. Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука», 1971. 576 с.

35. Стрелец В. М. Раскрытие закономерностей выполнения основных операций боевого развертывания пожарных автомобилей // *Системы озброєння і військова техніка*. Харків. 2015. Вып. 2(42). С.173–175.

36. Стрелец В. М. Развитие метода имитационной эргономической оценки функционирования системы «спасатель – средства защиты личного состава и ликвидации аварии – чрезвычайная ситуация» // *Вестник Кокшетауского технического института*. Кокшетау. 2014. № 4 (16). С.19–26.

*I. Soloviov<sup>1</sup>, The head of the department is a diving specialist*

*V. Strelets<sup>2</sup>, DSc, Professor, Senior Researcher*

*D. Lovin<sup>2</sup>, Adjunct*

<sup>1</sup>Main Directorate of the State Emergency Service of Ukraine in Kherson region, Kherson, Ukraine

<sup>2</sup>National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

## MULTIFACTOR MODEL OF EXCAVATION OF AN EXPLOSIVE SUBJECT DIVER

The use of experimental research planning methods has shown that to obtain a multifactor model of lifting an explosive object by a sapper diver from a depth that will take into account both the impact, in case nonlinear, selected parameters and the effects of interaction between them, it is advisable to conduct a multifactorial experiment 3x3x2. Statistical indicators of the time of lifting an explosive object in accordance with such a plan can be obtained using the method of direct expert assessments. As a result, a multi-

.....

Civil Security. DOI: 10.52363/2524-0226-2021-34-20

factor model of lifting an explosive object by divers in the form of a three-factor square polynomial was obtained, the coefficients of which establish a quantitative relationship between the level of training of personnel, external conditions in which he works and lifeguards. Field experiments confirmed the reliability of the developed mathematical model with a significance level of  $\alpha = 0,05$ . It is shown that when developing operational and technical recommendations, divers need to take into account both the type of diving suit and the effects of the interaction between the level of training of personnel and the conditions in which they work. At the same time, it is possible to ignore the effects of the interaction of the conditions of lifting an explosive object with the suit in which the sapper divers work, as well as the quadratic effect of using a dry or wet suit. It should be expected that in the case of lifting an explosive device, the level of preparedness will be more pronounced in divers-sappers with a primary level, as well as the fact that for them to reduce the effectiveness of underwater demining will be affected by poor external working conditions. During further research, increased attention should be paid to the preparation of diver sappers to work in difficult conditions and to the planning of operational activities of a specialized pyrotechnic unit, as well as the use of the latest technical means of underwater demining.

**Keywords:** underwater demining, diver-sapper, rise, explosive object, multifactor model

## References

1. Frey, Torsten, Beldowski, Jacek and 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>
2. Beck AJ, Gledhill M, Schlosser C, Stamer B, Böttcher C, Sternheim J, Greinert J and Achterberg EP. (2018). Spread, Behavior, and Ecosystem Consequences of Conventional Munitions Compounds in Coastal Marine Waters. *Frontiers in Marine Science*, 5, 141. doi: 10.3389/fmars.2018.00141
3. Ong, Caroline, Tamara Chapman, Raymond Zilinskas, Benjamin Brodsky and Joshua Newman. (2013). Chemical Weapons Munitions Dumped at Sea: An Interactive Map. James Martin Center for Nonproliferation Studies. Retrieved from [http://cns.miis.edu/stories/090806\\_cw\\_dumping.htm](http://cns.miis.edu/stories/090806_cw_dumping.htm)
4. Long, Terrance P. (2013). An International Overview of Sea Dumped Chemical Weapons: The Way Forward. Conventional Weapons Convention Coalition. Retrieved from <http://www.cwcoalition.org/wp-content/uploads/2010/12/longpaper.pdf>
5. Dario Matika, Slavko Barić. (2016). Maritime environmental security. *Scientific Journal of Maritime Research*, 30, 19–27. Retrieved from [Downloads/357\\_16\\_1\\_Matika\\_Baric.pdf](Downloads/357_16_1_Matika_Baric.pdf)
6. Solovjov, I. I., Ctrilecz, V. M. (2020). Problemi py`tannya vy`konannya robit z pidvodnogo rozminuvannya. Energozberezhennya ta promy`slova bezpeka: vy`kly`ky` ta perspekty`vy`. Tretya mizhnarodna naukovo-prakty`chna konferenciya. Ky`yiv: KPI, NNDI PBtaOP, 225–231.
7. 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: doi.org/10.4031/MTSJ.45.6.1
8. 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](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)
9. 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>

10. 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-globalcwd/1326>
11. Mareike, Kampmeier, Eefke, M. van der 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, 104108. doi: 10.1016/j.csr.2020.104108
12. Косыруба, V., Сзыбуль`я, S., Рыбалко, V. (2019). Obosnovany`e pry`meneny`ya metoda vozdušnoy razvedky` rajona y`ntensy`vnogo pry`meneny`ya my`nnogo oruzhy`ya. *Zhurnal nauchnykh trudov. Socy`al`noe razvy`ty`e y` bezopasnost`*, 9, 1, 60–68. doi: 10.33445 / sds.2019.9.1.5
13. Sayle, Stephen, Windeyer, Tom, Charles, Michael, Conrod, Scott, Stephenson, Malcolm. (2009). Site Assessment and Risk Management Framework for Underwater Munitions. *Marine Technology Society Journal*, 43, 4, 41–51(11). doi: 10.4031/MTSJ.43.4.10
14. 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/>
15. Huet, C., Mastroddi, F. (2016). Autonomy for underwater robots – a European perspective. *Auton Robot* 40, 1113–1118. doi: 10.1007/s10514-016-9605-x
16. Nick, Cooper, Simon, Cooke, Kevin, Burgess (2017). Risky Business Dealing with Unexploded Ordnance (UXO) in the Marine Environment. *Coasts, Marine Structures and Breakwaters*. Published Online. doi: 10.1680/cmsb.63174.0157
17. 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>
18. Camilli, Richard, Bingham, Brian S., Jakuba, Michael V., Duryea, Anthony N., LeBouvier, Rand, Dock, Matthew (2009). AUV Sensors for Real-Time Detection, Localization, Characterization, and Monitoring of Underwater Munitions. *Marine Technology Society Journal*, 43, 4, 76–84(9). doi: 10.4031/MTSJ.43.4.6
19. Herbert, John. Risk Mitigation of Chemical Munitions in a Deep-Water Geohazard Assessment (2010). *Marine Technology Society Journal*, 44, 1, 86–96(11). doi: 10.4031/MTSJ.44.1.4
20. Rancich, Tom (2011). Search and Recovery of Munitions by Divers. *Marine Technology Society Journal*, 45, 6, 75–79(5). doi: 10.4031/MTSJ.45.6.9
21. Gry`czaenko, M. (2017). Razrabotka modely` y`nformacy`onnoj platformy dlya obezvrezhy`vany`ya poteny`al`no opasnykh podvodnykh ob`ektov. *Texnologiy`chesky`j audy`t y` proy`zvodstvennyye rezervy*, 2 (2(40)), 57–62. doi: 10.15587/2312-8372.2018.129208
22. Olga Lucia Lopera Tellez, Alexander Borghgraef and Eric Mersch (August 30th 2017). The Special Case of Sea Mines, *Mine Action – The Research Experience of the Royal Military Academy of Belgium*, Charles Beumier, Damien Closson, Vinciane Lacroix, Nada Milisavljevic and Yann Yvinec, IntechOpen. doi: 10.5772/66994
23. International Symposium Mine Action (2019). Slano, Croatia. Retrieved from <http://www.ctro.hr/wp-content/uploads/2019/04/Knjiga-za-web-4-mb.pdf>
24. 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

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
26. Gibson, T. D., Scott, N. (2019). 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
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
28. Strelec, V. M. (2001). Y'my'tacy'onnyj analy'z sy'stemy «chelovek-mashy'na» kak metod ergonomy'cheskoj ocenky' funkcy'ony'rovany'ya avary'jny'x sluzhb. *Nauchno-texny'chesky'j zhurnal. Rady'o'elektrony'ka y' y'nformaty'ka*, 3(16), 125–128.
29. Afanas'yeva, O., Solovjov, I., Strilec, V. (2021). Matematy'chna model' pidvodnogo rozminuvannya vy'buxonebezpechnogo predmetu. *Informaciya ta bezpeka suspil'stva (Information and Public Safety)*, 2, 5. doi: 10.53029/2786-4529-2021-2-5
30. Solovjov, I. I. Stecyuk, Ye. I., Strilec, V. M. (2020). Zakonomirnosti rozxodu povitrya pid chas pidvodnogo rozminuvannya vodny'x akvatorij. *Problemy' nadzvychajny'x sy'tuacij*, 2(32), 132–144. doi: 10.5281/zenodo.4400181
31. Voznesensky'j, V. A. Staty'sty'chesky'e metody plany'rovany'ya ekspery'menta v texny'ko-ekonomy'chesky'x y'ssledovany'yah. M.: Fy'nansy y' staty'sty'ka, 1981, 263.
32. Strelets V. M. (1998). The use of an expert method for direct assessment of the results of activities / V.M. Sagittarius // *Information systems: collection of scientific papers*. NANU, PANI, HVU, 2(10), 165–168.
33. Beshelev, S. D., Gurvich, F. G. (1974). *Mathematical and statistical methods of expert assessments*. M.: Statistics, 264.
34. Mitropolskii, A. K. (1971). *Tekhnika statisticheskikh vychislenii*. – Glavnaya redaktsiya fiziko-matematicheskoi literatury izdatelstva «Nauka», 576.
35. Strelets, V. M. (2015). Raskrytie zakonomernostei vypolneniya osnovnykh operatsii boevogo razvertyvaniya pozharnykh avtomobilei // *Sy'stemy' ozbroyennya i vijs'kova tekhnika*. Kharkiv, 2(42), 173–175.
36. Strelets, V. M. (2014). Razvitie metoda imitatsionnoi ergonomicheskoi otsenki funktsionirovaniya sistemy «spasatel – sredstva zashchity lichnogo sostava i likvidatsii avarii – chrezvychainaya situatsiya» // *Vestnik Kokshetauskogo tekhnicheskogo instituta*. Kokshetau, 4(16), 19–26.

Надійшла до редколегії: 11.10.2021

Прийнята до друку: 17.11.2021