

УДК 351.861

І. І. Соловійов¹, нач. відділення (ORCID 0000-0002-0400-6704)

Є. І. Стецюк², к.т.н., заст. нач. каф. (ORCID 0000-0002-5204-9194)

В. М. Стрілець², д.т.н., доцент, старший науковий співробітник (ORCID 0000-0002-9109-8714)

¹Головне управління ДСНС України у Херсонській області, Херсон, Україна

²Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна

ЗАКОНОМІРНОСТІ РОЗХОДУ ПОВІТРЯ ПІД ЧАС ПІДВОДНОГО РОЗМІНУВАННЯ ВОДНИХ АКВАТОРІЙ

Проведено експериментальні дослідження, в яких брали участь випробовувані з числа особового складу відділення підводного розмінування групи піротехнічних робіт та спеціальних водолазних робіт аварійно-рятувального загону спеціального призначення Головного управління ДСНС України у Херсонській області, які на протязі весни-літа 2020 року виконували реальні операції пошуку на глибині 4 м, 6 м та 7 м та підйому з глибини 6 м, у тому випадку, коли була відсутня можливість знищення на місці, вибухонебезпечних предметів в акваторії Чорного моря, яка вимагає свого розмінування. Запропонована методика проведення експериментальних досліджень, яка дозволяє як отримати кількісні оцінки розходу повітря, що будуть характеризувати тип оперативної діяльності та умови її здійснення, так і перевірити наскільки значимо кожен з цих факторів впливає на розхід повітря піротехніком під час виконання аварійно-рятувальних робіт під водою в апаратах на стисненому повітрі. Сильною стороною отриманих результатів є визначення достовірних показників, які можуть бути основою для обґрунтування конкретних пропозицій щодо організації робіт з підводного розмінування, вибору засобів індивідуального захисту, в першу чергу органів дихання, водолазів-саперів, обґрунтування тактико-технічних вимог до засобів індивідуального захисту органів дихання як на етапі їх створення, так і на етапі придбання, а також під час організації процесу підготовки водолазів-саперів. Результати статистичного аналізу експериментальних результатів, які були отримані в процесі оперативної діяльності особового складу відділення підводного розмінування групи піротехнічних робіт та спеціальних водолазних робіт аварійно-рятувального загону спеціального призначення Головного управління ДСНС України у Херсонській області, показали, що при рівні значимості $\alpha=0,05$ результати розходу повітря у водолазів-саперів описуються нормальним розподілом. При цьому розхід повітря суттєво відрізняється як від характеру операцій, які виконує особовий склад, так і від глибини знаходження вибухонебезпечного предмету.

Ключові слова: підводне розмінування, розхід повітря, водолаз-сапер, статистичний аналіз, глибина, вибухонебезпечний предмет, автономні дихальні апарати на стисненому повітрі, піротехнік, водна акваторія, відділення

1. Вступ

Якщо щодо ліквідації наслідків вибухів на суходолі в нашій державі накопичений величезний досвід, то питання підвищення ефективності розвідки та розмінування водного середовища потребують подальшої розробки, оскільки кількість вибухонебезпечних предметів, які забруднюють мирні водні акваторії (рис. 1), у тому разі в результаті агресії Росії, суттєво не зменшуються [1], незважаючи на створення в окремих ГУ ДСНС України спеціалізованих відділень підводного розмінування групи піротехнічних робіт та спеціальних водолазних робіт, які входять до відповідних аварійно-рятувальних загонів спеціального призначення.



Рис. 1. Боєприпаси, вилучені з-під води в Херсонській області протягом одного дня

Тому проблема підвищення ефективності попередження надзвичайних ситуацій, пов'язаних з підводним розташуванням вибухонебезпечних предметів, є актуальною.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Починаючи з Першої світової війни та продовжуючи на протязі Другої світової та після неї кілька світових держав скинули як хімічну, так і звичайну зброю в океани по всьому світу. Так приблизно 175000 мін було закладено в Балтійському морі під час світових війн. На цей час в Балтійському морі існує близько 1985 мінних полів та ще 4400 – у Північному морі [2]. Координацію зусиль та забезпечення єдиних підходів здійснює Балтійськарлада з безпеки боєприпасів (BOSB) [3]. Проте в них не розглядаються особливості використання існуючих технічних засобів розмінування, а вони в кожній країні мають свої технічні характеристики.

Аналогічна ситуація має місце і біля узбережжя Північної Америки. В [4] розглянуто існуючий там підхід до управління надзвичайними ситуаціями, пов'язаними з об'єктами підводних боєприпасів, який включає характеристику об'єкта, оцінку ризику, результати обстеження, а також потенційні проблеми, що пов'язані із здоров'ям особового складу піротехніків. В той же час попереднє ранжування на основі ризиків підводних боєприпасів не передбачає урахування часу оперативної роботи особового складу, а вона безпосередньо пов'язана із часом захисної дії засобів індивідуального захисту органів дихання. При цьому тактико-технічні характеристики останнього безпосередньо пов'язані з легеневою вентиляцією або розходом повітря рятувальників [5].

В [6] відмічено, що навіть у випадку, коли боєприпаси, захороненні під водою, малоімовірно що будуть вимагати вилучення найближчим часом, має місце необхідність їх підводного позиціонування, яке без підводної розвідки здійснити практично неможливо. А організація її проведення знов таки вимагає знання оцінки часу роботи піротехніків під водою.

І навіть використання автономних підводних апаратів, які базуються на сенсорних технологіях, використанні хімічних та біометричних датчиків, спирається на підводну оперативну діяльність особового складу, залученого до виявлення пі-

дводних боєприпасів [7], що також вимагає урахування фізіологічних характеристик підводників. Це ж відмічено і в [8], де показано, що гнучкість в плануванні та виконанні підводних робіт з предметами, які не вибухнули забезпечується залученням професіоналів у проведенні підводних робіт із застосуванням відповідних засобів індивідуального захисту органів дихання, тактико-технічні характеристики яких відповідають можливостям водолазів [9].

Сучасною європейською перспективою попередження надзвичайних ситуацій, пов'язаних з підводним знаходженням вибухонебезпечних предметів, є застосування принципів «не підривати» та перехід на реалізацію можливостей підводних роботів [10]. Але і в першому, і в другому випадку без участі спеціально підготовлених водолазів-саперів не обійтись, а організація їх діяльності вимагає знання оцінок часу можливої роботи особового складу, особливо у випадку використання автономних дихальних апаратів [11].

Аналогічні проблемні питання існують і в Україні, де тільки в Херсонській області за даними «Журналів бойових дій» в центральному Херсонському архіві військової частини, які під час Другої світової війни обороняли острів Тендра, за період з 16 вересня по 20 жовтня 1941 р. збили в акваторії острова до 27 одиниць ворожих бомбардувальників із повним боєкомплексом. Крім цього там загинули 13 радянських літаків, а німецькі літаки за цей же період знищили 11 кораблів та плавзасобів радянського флоту [12]. На даний час на території області в акваторії Чорного моря знайдено два судна часів минулих війн, які відповідно до Плану організації виконання завдань з розвідки і розмінування місцевості Херсонської області підлягають першочерговому розмінуванню. А саме: в Ягорлицькій затоці Голопристанського району «Монітор Ударний», на якому за попередніми даними знаходиться артилерійські снаряди головного калібру – 130 мм та артилерійські снаряди до зенітних напівавтоматів калібру 45 мм. Практика розмінування міноноскою «Фрунзе» в районі Тендеровської коси Голопристанського району показала, що плануванню оперативної діяльності відділення підводного розмінування групи піротехнічних робіт та спеціальних водолазних робіт, у якого на озброєнні стоять автономні дихальні апарати на стисненому повітрі АВМ [13], не сприяла відсутність в керівних документах оцінок часу проведення оперативних робіт під водою [14].

Таким чином, важливою та нерозв'язаною частиною проблеми є відсутність апробованих даних щодо розходу повітря водолазами-саперами під час виконання характерних для підводного розмінування операцій.

3. Мета та завдання дослідження

Метою роботи є дослідження впливу типу та умов оперативної діяльності на розхід повітря в апаратах на стисненому повітрі у водолазів-саперів під час проведення підводного розмінування.

Для досягнення поставленої мети потребують вирішення наступні завдання:

1. Обґрунтувати методику проведення експериментального дослідження впливу типу та умов оперативної діяльності на розхід повітря в апаратах на стисненому повітрі у водолазів-саперів під час проведення підводного розмінування.

2. Провести статистичний аналіз результатів експериментального дослідження впливу типу та умов оперативної діяльності на розхід повітря в апаратах на стисненому повітрі у водолазів-саперів під час проведення підводного розмінування.

4. Обґрунтування методики експериментальних досліджень впливу оперативної діяльності на розхід повітря

Для вирішення поставленого завдання спочатку були проведені експериментальні дослідження, в яких брали участь випробовувані з числа особового складу відділення підводного розмінування групи піротехнічних робіт та спеціальних водолазних робіт аварійно-рятувального загону спеціального призначення Головного управління ДСНС України у Херсонській області. Вони на протязі весни-літа 2020 року виконували реальні операції пошуку (рис. 2) на глибині 4 м, 6 м та 7 м та підйому (рис. 3) з глибини 6 м, у тому випадку, коли була відсутня можливість знищення на місці, вибухонебезпечних предметів в акваторії Чорного моря, яка вимагає свого розмінування.



Рис. 2. Пошук вибухонебезпечних предметів під водою



Рис. 3. Підйом вибухонебезпечних предметів з-під води

В кожному випадку вимірювались час (t , хв.) підводної оперативної роботи в апаратах на стисненому повітрі (використовувались апарати типу АВМ з обсягом V_6 балонів 12 та 15 л), початковий тиск ($P_{\text{поч}}$, бар) та тиск ($P_{\text{кін}}$, бар) по завершенню операції, яка розглядалась. Це дозволило, використовуючи закон Бойля-Маріотта, перейти до оцінки розходу повітря [л/хв]

$$\omega_{\text{л}} = \frac{(P_{\text{поч}} - P_{\text{кін}}) \cdot V_6}{P_{\text{атм}} \cdot t}, \quad (1)$$

де $P_{\text{атм}} \approx 1$ бар – атмосферний тиск.

Для перевірки відмінності розходу повітря в залежності як від глибина проведення аварійно-рятувальних робіт під водою, так і від характеру оперативної діяльності (пошук вибухонебезпечних предметів або їх підйом на поверхню) необхідно отримати статистичні оцінки експериментальних результатів (математичні очікування та середньоквадратичні відхилення) для обраних варіантів оперативної діяльності за різних вихідних умов, а вже після цього перевірити наскільки відмінність є значимою за критерієм Стюдента.

Таким чином, запропонована методика проведення експериментальних досліджень дозволяє як отримати кількісні оцінки розходу повітря, що будуть характеризувати тип оперативної діяльності та умови її здійснення, так і перевірити наскільки значимо кожен з цих факторів впливає на розхід повітря піротехніком під час виконання аварійно-рятувальних робіт під водою в апаратах на стисненому повітрі.

5. Проведення статистичного аналізу результатів експериментального дослідження розходу повітря

Отримані результати, оскільки у кожному випадку використовувалися вибірки з об'ємом $n = 20 < 30$, були перевірені на нормальність розподілу за критерієм Шапіро-Уїлкі [15].

Для цього, наприклад, стосовно розходу повітря під час пошуку вибухонебезпечних предметів на глибині 4 м піротехніками в АВМ (табл.1, в якій показник розходу повітря визначений за (1)) спочатку були розраховані середнє значення показника розходу повітря під час роботи в АВМ

$$\bar{\omega}_{\text{л}} = \frac{\sum_{i=1}^n \omega_{\text{л}_i}}{n}, \quad (2)$$

де $\omega_{\text{л}_i}$ – значення показника розходу повітря у i -го досліджуємого, л/хв; середньоквадратичне відхилення

$$\sigma_{\omega_{\text{л}}} = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (\omega_{\text{л}_i} - \bar{\omega}_{\text{л}})^2}, \quad (3)$$

та

$$n \cdot m_2 = \sum_{i=1}^n (\omega_{л_i} - \bar{\omega}_{л})^2, \quad (4)$$

де m_2 – вибірковий центральний момент другого порядку.

Табл. 1. Результати оперативної діяльності водолазів-саперів під час проведення пошуку вибухонебезпечних предметів на глибині 4 м при видимості близько 1 м в АВМ

№ з/п	$P_{\text{поч}}$, бар	$P_{\text{кін}}$, бар	ΔP , бар	t, хв.	V_6 , л	$\omega_{л}$, л/хв
1	170	100	70	75	15	14,00
2	100	40	60	70	15	12,86
3	180	100	80	42	15	28,57
4	240	205	35	55	12	7,64
5	195	135	60	50	12	14,40
6	230	135	95	55	15	25,91
7	135	45	90	75	15	18,00
8	220	185	35	50	15	10,50
9	195	150	45	50	15	13,50
10	210	100	110	55	12	24,00
11	230	145	85	65	15	19,62
12	145	75	70	60	15	17,50
13	190	130	60	45	15	20,00
14	130	55	75	55	15	20,45
15	200	95	105	65	12	19,38
16	210	95	115	75	12	18,40
17	180	125	55	55	15	15,00
18	125	45	80	60	12	16,00
19	220	145	75	45	15	25,00
20	145	95	50	50	15	15,00

Оскільки оцінки ω_i є результатом обробки незалежних спостережень, вони були розташовані в порядку неспадання і позначені символами $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_{n=20}$

Табл. 2. Результати обробки незалежних спостережень витрати повітря під час під час пошуку вибухонебезпечних предметів на глибині 4 м в АВМ

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ω_i , л/хв	7,64	10,50	12,86	13,50	14,00	14,40	15,00	15,00	16,00	17,50
$(\omega_i - \bar{\omega})^2$	103,02	53,09	24,30	18,37	14,34	11,47	7,76	7,76	3,19	0,08
n	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ω_i , л/хв	18,00	18,40	19,38	19,62	20,00	20,45	24,00	25,00	25,91	28,57
$(\omega_i - \bar{\omega})^2$	0,05	0,38	2,55	3,35	4,90	7,12	38,61	52,04	65,98	116,32
$\bar{\omega}$, л/хв	17,79									
σ , л/хв	5,30									
$n \cdot m_2$	534,67									

В табл. 3 приведена впорядкована серія отриманих значень витрати повітря під час під час пошуку вибухонебезпечних предметів на глибині 4 м в АВМ.

Табл. 3. Упорядкована серія отриманих значень витрати повітря

k	$t_{(20-k+1)}, c$	t_k, c	$t_{(20-k+1)} - t_k, c$	a_{n-k+1}	$a_{n-k+1} \cdot (t_{(20-k+1)} - t_k)$
1	28,6	7,6	20,94	0,4493	9,4061
2	25,9	10,5	15,41	0,3098	4,7737
3	25,0	12,9	12,14	0,2554	3,1013
4	24,0	13,5	10,50	0,2145	2,2523
5	20,5	14,0	6,45	0,1807	1,1663
6	20,0	14,4	5,60	0,1512	0,8467
7	19,6	15,0	4,62	0,1245	0,5746
8	19,4	15,0	4,38	0,0997	0,4371
9	18,4	16,0	2,40	0,0764	0,1834
10	18,0	17,5	0,50	0,0539	0,0270
S					22,7685
S ²					518,4057

Це дозволило обчислити проміжну суму S по формулі:

$$S = \sum_i^k a_{n-i+1} \cdot (t_{(n-i+1)} - t_i) = 22,7685, \quad (5)$$

де k – індекс, який має значення від 1 до $n/2 = 12$; a_{n-i+1} – коефіцієнт, який має спеціальні значення для обсягу вибірки n (його значення, що наведені в табл. 2, взяті з табл.10 [19]).

Табл. 11 [15] для рівня значимості $\alpha=0,05$ та $n=20$ дає значення $W_{\text{табл}} = 0,905$.

Оскільки

$$W = \frac{S^2}{n \cdot m^2} = \frac{518,4057}{534,67} = 0,9696 \geq W_{\text{табл}} = 0,905, \quad (6)$$

розподіл у відповідності до [16] вважається нормальним.

Розрахунки, аналогічні (2)–(6), були виконані також для аналізу витрати повітря піротехніками за іншими обраними варіантами оперативної роботи. Вони також показали що за рівнем значимості $\alpha=0,05$ їх можна вважати нормальним.

Отримані результати в узагальненому вигляді наведені в табл. 4, а також на рис. 1, де наведено оцінки розподілу витрати повітря піротехніками під час пошуку (з урахуванням глибини проведення аварійно-рятувальних робіт) під водою вибухонебезпечного предмету та його транспортування на поверхню.

Табл. 4. Результати оцінки витрати повітря за різних умов проведення підводних робіт водолазами-саперами

Показник	Пошук ВВП на глибині 4 м	Пошук ВВП на глибині 6 м	Пошук ВВП на глибині 7 м	Підйом ВВП з глибини 4 м
$\bar{\omega}$, л/хв	17,79	21,49	37,86	29,77
σ , л/хв	5,30	7,45	7,32	7,18

Наявність оцінок математичних очікувань і середньоквадратичних відхилень для отриманих вибірок (табл. 4) розходу повітря дозволило виконати перевірку того, наскільки значимо різняться середні значення, отримані по незалежних вибірках дослідження, використовуючи t-критерій Стьюдента.

В цьому випадку, наприклад для ситуацій, коли порівнюється розхід повітря під час пошуку ВНП на глибині 4 м та на глибині 6 м, розглядалась гіпотеза

$$H_0 : \omega(4) = \omega(6), \quad (7)$$

та її альтернатива

$$H_1 : \omega(4) \neq \omega(6), \quad (8)$$

яка доводить відмінність середніх значень.

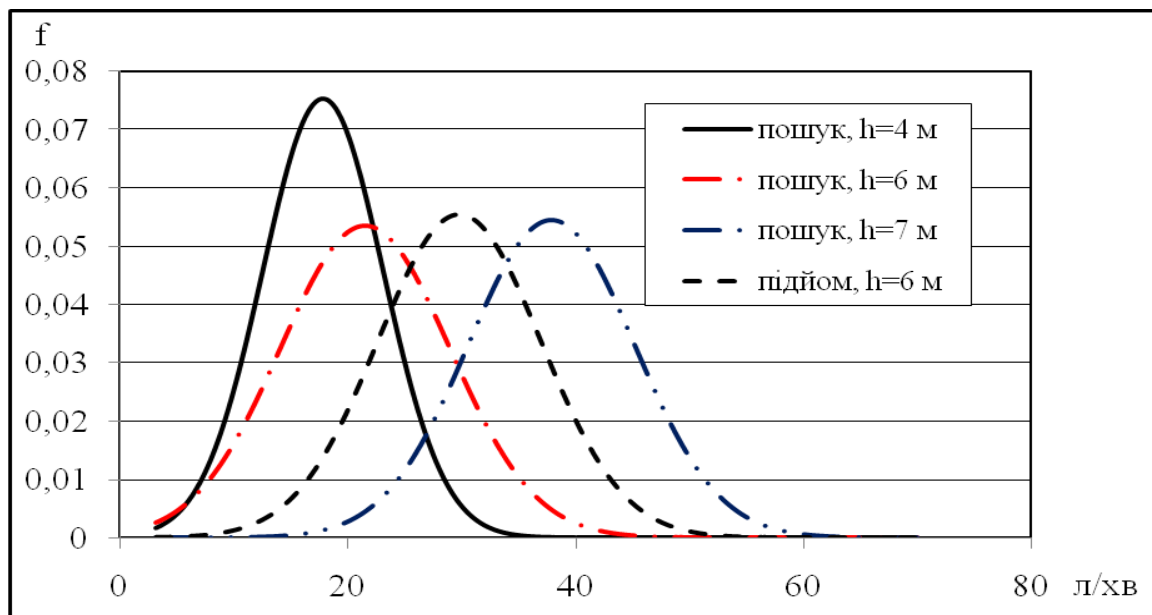


Рис. 1. Розподіл розходу повітря під час підводної оперативної роботи в АВМ в залежності від характеру завдання, яке виконував особовий склад

З метою вибору конкретної методики розрахунку t-критерію спочатку була перевірена гіпотеза про рівність дисперсій. У якості критерію для перевірки нуль-гіпотези

$$H_0 : \sigma(4) = \sigma(6), \quad (9)$$

був обраний F-критерій

$$F = \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} = \frac{55,57}{28,14} \approx 1,97, \quad (10)$$

де σ_1^2 – більша з оцінок дисперсій в двох вибірках.

При цьому критичне значення $F_{кр}$, яке при рівні значимості $\alpha = 0,05$ та числі ступенів свободи

$$\nu(4) = n_4 - 1 = 19, \quad \nu(6) = n_6 - 1 = 19. \quad (11)$$

де $n_4 = n_6 = 20$ – кількість занурень особового складу, під час яких здійснювався пошук ВВП на глибині 4 м та 6 м та за результатами яких оцінювалися статистичні характеристики отриманих розподілів, дорівнює

$$F_{кр} = F_{табл} = 2,15 > F = 1,97, \quad (12)$$

що свідчить про те – з рівнем значимості $\alpha = 0,05$ можна стверджувати про рівність дисперсій.

Виходячи з цього, стандартна помилка різниці S_x , з урахуванням того, що вибірки малого розміру (<30), і число ступенів свободи ν при обчисленні t -критерію розраховуються [16] наступним чином

$$S_{(4-6)} = \sqrt{\frac{(n_4-1) \cdot \sigma_4^2 + (n_6-1) \cdot \sigma_6^2}{n_4 + n_6 - 2} \cdot \left(\frac{1}{n_4} + \frac{1}{n_6} \right)} = \quad (13)$$

$$n_4 + n_6 - 2 = 38. \quad (14)$$

Це дозволяє показник t -критерію для порівняння статистичних оцінок розходу повітря визначити як

$$t_{набл} = \frac{|\bar{w}(4) - \bar{w}(6)|}{S_{(4-6)}} = . \quad (15)$$

Оскільки

$$t_{набл} \Rightarrow t_{табл}(\alpha = 0,05) = 2,04, \quad (16)$$

можна стверджувати, що глибина проведення аварійно-рятувальних робіт щодо попередження надзвичайних ситуацій, пов'язаних з підводним знаходженням вибухонебезпечних предметів, суттєво впливає на розхід повітря водолазів-саперів.

Таким чином, результати статистичного експериментальних результатів, які були отримані в процесі здійснення реальної оперативної діяльності особового складу відділення підводного розмінування групи піротехнічних робіт та спеціальних водолазних робіт аварійно-рятувального загону спеціального призначення Головного управління ДСНС України у Херсонській області, показали, що при рівні значимості $\alpha=0,05$ результати розходу повітря у піротехніків-підводників описуються нормальним розподілом. При цьому розхід повітря суттєво відрізняється як від характеру операцій, які виконує особовий склад, так і від глибини знаходження вибухонебезпечного предмету.

6. Обговорення результатів експериментальної перевірки впливу оперативної діяльності на розхід повітря

В Україні, як і в інших провідних країнах світу, питання, що пов'язані із урахуванням можливого перебування під водою рятувальників, розглянуті недостатньо.

Аналіз отриманих результатів показує, що математичне очікування розходу повітря піротехніків під час виконання типових операцій в процесі здійснення підводного розмінування водної акваторії суттєво з рівнем значимості $\alpha=0,05$ відрізняється не тільки в залежності від типу оперативної діяльності, але й від глибини

знаходження вибухонебезпечних предметів, збільшення якої суттєво ускладнює дії особового складу.

Сильною стороною отриманих результатів є визначення достовірних показників (з рівнем значимості $\alpha=0,05$), які можуть бути основою для обґрунтування конкретних пропозицій щодо організації робіт з підводного розмінування, вибору засобів індивідуального захисту, в першу чергу органів дихання, рятувальників, обґрунтування тактико-технічних вимог до засобів індивідуального захисту органів дихання як на етапі їх створення, так і на етапі придбання, а також під час організації процесу підготовки піротехніків-підводників.

Представлення закономірностей з рівнем значимості $\alpha=0,05$ розходу повітря під час проведення підводних робіт в процесі розмінування водних акваторій дозволяє використовувати їх у якості вихідних даних для імітаційних моделей попередження надзвичайних ситуацій, пов'язаних з підводним розташуванням вибухонебезпечних предметів.

Одночасно необхідно відмітити, що застосування обраного підходу в практичній діяльності супроводжується трудомісткістю проведення експериментальних досліджень, результати яких є основою для науково-обґрунтованих рішень щодо підвищення ефективності дій особового складу відділення підводного розмінування групи піротехнічних робіт та спеціальних водолазних робіт, оскільки для здійснення цього процесу необхідно залучити висококваліфікованих спеціалістів, які одночасно мають знання та навички як в практиці розмінування водних акваторій, так і в організації експериментальних досліджень таким чином, щоб були отримані статистично значимі результати, які стануть основою відповідних пропозицій. Крім цього, суттєвим обмеженням є можливість реалізації розробленої методики тільки для апаратів на стисненому повітрі, коли вони використовуються на незначних глибинах.

8. Висновки

1. Запропонована методика проведення експериментальних досліджень дозволяє як отримати кількісні оцінки розходу повітря піротехніками під час проведення підводного розмінування (математичні очікування та середньоквадратичні відхилення), які будуть одночасно характеризувати характер оперативної роботи, яку виконує водолаз-сапер, та умови його діяльності (глибину знаходження вибухонебезпечного предмету), так і перевірити за критерієм Стьюдента наскільки значимо кожен з обраних факторів впливає на розхід повітря під час роботи в ізолюючому апараті.

2. Проведені експериментальні дослідження, в яких брали участь водолази-сапери відділення підводного розмінування групи піротехнічних робіт та спеціальних водолазних робіт аварійно-рятувального загону спеціального призначення Головного управління ДСНС України у Херсонській області, показали, що при рівні значимості $\alpha=0,05$ результати розходу повітря у водолазів-саперів описуються нормальним розподілом. При цьому розхід повітря суттєво відрізняється як від характеру операцій, які виконує особовий склад, так і від глибини знаходження вибухонебезпечного предмету. Сильною стороною отриманих результатів є визначення достовірних показників (з рівнем значимості $\alpha=0,05$), які можуть бути основою для обґрунтування конкретних пропозицій щодо організації робіт з підводного розмінування, вибору засобів індивідуального захисту, в першу чергу органів дихання, водолазів-саперів, обґрунтування тактико-технічних вимог до засобів індивідуаль-

ного захисту органів дихання як на етапі їх створення, так і на етапі придбання, а також під час організації процесу підготовки піротехніків-підводників.

Література

1. Про реалізацію основних заходів з протимінної діяльності у 2020 році та проведення спеціальних вибухових робіт: наказ ДСНС України від 21 січня 2020 року № 68. С. 1–7.
2. 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*. 2001. Vol. 45, № 6, P. 26–34. DOI: <https://doi.org/10.4031/MTSJ.45.6.1>
3. Ковальов П. А., Стрілець В. М., Єлізаров О. В., Безуглов О. Є. Основи створення та експлуатації апаратів на стисненому повітрі. Х.: АЦЗУ, 2005. 359 с.
4. Rancich T. Search and Recovery of Munitions by Divers. *Marine Technology Society Journal*. 2011. Vol. 45, № 6. P. 75–79. DOI: <https://doi.org/10.4031/MTSJ.45.6.9>
5. Herbert J. Risk Mitigation of Chemical Munitions in a Deep-Water Geohazard Assessment. *Marine Technology Society Journal*. 2010. Vol. 44, № 1. P. 86–96. DOI: <https://doi.org/10.4031/MTSJ.44.1.4>
6. Maser E., Strehse J. S. Don't Blast: blast-in-place (BiP) operations of dumped World War munitions in the oceans significantly increase hazards to the environment and the human seafood consumer. *Journal of Arch Toxicol*. 2020. Vol. 94, № 1. P. 71–88. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00204-020-02743-0>
7. Huet C., Mastroddi F. Autonomy for underwater robots a European perspective. *Journal of Auton Robot*. 2016. Vol. 40, № 1. P. 1113–1118. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10514-016-9605-x>
8. Cooper N., Cooke S., Burgess K. Risky Business: Dealing with Unexploded Ordnance (UXO) in the Marine Environment. *Journal of Coasts, Marine Structures and Breakwaters*. 2017. Vol. 171. № 3. P. 333–342. DOI: <https://doi.org/10.1680/jcmsb.63174.0157>
9. Mijajlovic V. The Regional Center for Divers Training and Underwater Demining. *Journal of ERW and Mine*. 2013. Vol. 17. № 2. P. 13–19. URL: <https://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol17/iss2/13>
10. deWaard L., Dekeling R. An Over view of Disposal of Ammunition in the Dutch Section of the North Sea: Present Practice and Development of Safety Measures. 2013. P. 299–348 URL: <https://schleswig-holstein.nabu.de/natur-und-landschaft/aktionen-und-projekte/munition-im-meer/miremar/13199.html>
11. Nickand C., Cooke S. Risky Business: Dealing with Unexploded Ordnance (UXO) in the Marine Environment. *Journal of Coasts, Marine Structures and Breakwaters*. 2017. Vol. 171. № 3. P. 157–167. DOI: <https://doi.org/10.1680/jcmsb.63174.0157>
12. Соловйов 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.
13. IMAS 09.60:2014 (IMAS 09.60:2014, IDT) Underwater Survey and Clearance of Explosive Ordnance (EO) URL: https://www.mineactionstandards.org/fileadmin/MAS/documents/standards/translations/IMAS_09.60_pdf

14. 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>

15. Illowsky B., Dean S. Introductory Statistics. OpenStax CNX. 2014. P 67–74. URL: <https://openstax.org/details/introductory-statistics>

16. Denworth L. A Significant Problem: Standard scientific methods are under fire. Journal of Scientific American. 2019. Vol. 321. № 4. P. 62–67. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Scientific_American

I. Soloviov¹, Head of department

Y. Stetsiuk², PhD, Deputy Head of Department

V. Strelets², DSc, Associate Professor, Senior Researcher

¹Main Directorate of the State Emergency Service of Ukraine in Kherson region

²National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

REGULARITIES OF AIR CONSUMPTION DURING UNDERWATER DEMINING OF WATER AREAS

Experimental studies were conducted in which participants from the underwater demining department of the group of pyrotechnic works and special diving works of the emergency rescue team of the Main Directorate of the SES of Ukraine in Kherson region, who during the spring-summer 2020 performed real search operations on depth of 4 m, 6 m and 7 m and lifting from a depth of 6 m, in the event that there was no possibility of destruction on the spot, explosive objects in the Black Sea, which requires its demining. The method of experimental research is proposed, which allows to obtain quantitative estimates of air flow, which will characterize the type of operational activities and conditions of its implementation, and to check how significantly each of these factors affects air flow by pyrotechnics during underwater rescue operations in underwater devices in compressed air. The strength of the results is the definition of reliable indicators (with a significance level of $\alpha = 0.05$), which can be the basis for substantiation of specific proposals for the organization of work on underwater demining, the choice of personal protective equipment, especially respiratory organs, divers, substantiation tactical and technical requirements for personal respiratory protection both at the stage of their creation and at the stage of acquisition, as well as during the organization of the process of training divers-sappers. The results of statistical analysis of experimental results obtained during the operational activities of the personnel of the submarine demining department of the group of pyrotechnic works and special diving works of the rescue squad of the Main Directorate of the SES of Ukraine in Kherson region showed that at significance level $\alpha = 0.05$ the results of air flow in diver sappers are described by the normal distribution. The air flow differs significantly from the nature of the operations performed by personnel and from the depth of the explosive object.

Keywords: underwater demining, air flow rate, sapper diver, statistical analysis, depth, explosive object, autonomous breathing apparatus in compressed air, pyrotechnician, water area, department

References

1. Pro realizaciyu osnovnyx zaxodiv z protymynnoyi diyalnosti u 2020 roci ta provedennya specialnyx vybuxovyx robit: nakaz DSNS Ukrayini. (2020). 68, 1–7.
2. Gunnar, M. (2001). 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. DOI: <https://doi.org/10.4031/MTSJ.45.6.1>
3. Koval`ov, P. A., Strilecz`, V. M., Yelizarov, O. V., Bezuglov, O. Ye. (2005). Osnovy stvorenniya ta ekspluatatsiyi aparativ na stysnenomu povitri. X.: ACZZU, 359.
4. Rancich, T. (2011). Search and Recovery of Munitions by Divers. Marine Technology Society Journal, 45 (6), 75–79. DOI: <https://doi.org/10.4031/MTSJ.45.6.9>

5. Herbert, J. (2010). Risk Mitigation of Chemical Munitions in a Deep-Water Geohazard Assessment. *Marine Technology Society Journal*, 44 (1), 86–96. DOI: <https://doi.org/10.4031/MTSJ.44.1.4>
6. Maser, E., Strehse, J. S. (2020). Don't Blast: blast-in-place (BiP) operations of dumped World War munitions in the oceans significantly increase hazards to the environment and the human seafood consumer. *Journal of Arch Toxicol*, 94 (1), 71–88. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00204-020-02743-0>
7. Huet, C., Mastroddi, F. (2016). Autonomy for underwater robots a European perspective. *Journal of Auton Robot*, 40 (1), 1113–1118. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10514-016-9605-x>
8. Cooper, N., Cooke, S., Burgess, K. (2017). Risky Business: Dealing with Unexploded Ordnance (UXO) in the Marine Environment. *Journal of Coasts, Marine Structures and Breakwaters*, 171 (3), 333–342. DOI: <https://doi.org/10.1680/cmsb.63174.0157>
9. Mijajlovic, V. (2013). The Regional Center for Divers Training and Underwater Demining. *Journal of ERW and Mine*, 17 (2), 13–19. URL: <https://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol17/iss2/13>
10. DeWaard, L., Dekeling, R. (2013). An Over view of Disposal of Ammunition in the Dutch Section of the North Sea: Present Practice and Development of Safety Measures, 299–348. URL: <https://schleswig-holstein.nabu.de/natur-und-landschaft/aktionen-und-projekte/munition-im-meer/miremar/13199.html>
11. Nickand, C., Cooke, S. (2017). Risky Business: Dealing with Unexploded Ordnance (UXO) in the Marine Environment. *Journal of Coasts, Marine Structures and Breakwaters*, 171(3), 157–167. DOI: <https://doi.org/10.1680/cmsb.63174.0157>
12. Soloviov, I. I., Ctrilecz, V. M. (2020). Problemni pytannya vykonannya robit z pidvodnogo rozminuvannya. Energozberezhennya ta promy`slova bezpeka: vyklyky ta perspektyvy. Tretya mizhnarodna naukovo-praktychna konferenciya. Kyiv: KPI, NNDI PBtaOP, 225–231.
13. IMAS 09.60:2014 (IMAS 09.60:2014, IDT) Underwater Survey and Clearance of Explosive Ordnance (EO) URL: https://www.mineactionstandards.org/fileadmin/MAS/documents/standards/translations/IMAS_09.60_pdf
14. 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>
15. Illowsky, B., Dean, S. (2014). Introductory Statistics. OpenStax CNX, 67–74. URL: <https://openstax.org/details/introductory-statistics>
16. Denworth, L. (2019). A Significant Problem: Standard scientific methods are under fire. *Journal of Scientific American*, 321(4), 62–67. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Scientific_American

Надійшла до редколегії: 10.04.2020

Прийнята до друку: 23.04.2020