УДК 351.861

І. І. Соловйов[1]**,** *ад'юнкт ад'юнктури (ORCID 0000-0002-0400-6704)*
М. Г. Грицаєнко[2]**,** *к.т.н., перший заступник Голови ДСНС з НС (ORCID 0000-0002-4436-9382)*
В. В. Стрілець[3]**,** *к.т.н., supervisor EORE (ORCID 0000-0003-1913-7878)*
А. О. Мирошниченко[1]**,** *заст. нач. відділу (ORCID 0000-0002-5104-0657)*
[1]*Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна*
[2]*Державна служба України з надзвичайних ситуацій, Київ, Україна*
[3]*Гуманітарна міжнародна організація The Halo Trust*

ДВОСТУПЕНЕВИЙ ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МОДЕЛЕЙ ПІДВОДНОГО ПІДЙОМУ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ ПРЕДМЕТІВ

Розроблено спосіб багатофакторного аналізу моделей гуманітарного підводного розмінування. Він передбачає реалізацію зворотного зв'язку в існуючій методиці обґрунтування оперативно-технічних рекомендацій щодо скорочення часу гуманітарного підводного розмінування водолазами-саперами шляхом двоступеневого (спочатку в натуральних, а потім в кодованих перемінних) порівняння багатофакторних моделей, які описують різні варіанти гуманітарного підводного розмінування. Це викликано тим, що важливою та нерозв'язаною частиною проблеми підвищення ефективності попередження надзвичайних ситуацій, пов'язаних з підводним розташуванням вибухонебезпечних предметів, є відсутність науково-обґрунтованого підходу до проведення багатофакторного аналізу різних способів підводного гуманітарного розмінування. Спосіб розглянуто на прикладі двоступеневого порівняльного аналізу багатофакторних моделей підводного підйому вибухонебезпечних предметів вибухонебезпечних предметів водолазами-саперами Державної служби України з надзвичайних ситуацій (ДСНС) шляхом застосування загальноприйнятого підходу та у разі використання спеціалізованого пристрою у вигляді прямокутного «кошика» з жорсткими ребрами розміром 600х600х150 мм, який було зроблено в підпорядкованому підрозділі ГУ ДСНС України у Херсонській області. Багатофакторний аналіз існуючої та нової моделей підтвердив, що використання спеціалізованого технічного приладу для підйому вибухонебезпечного предмету водолазами-саперами суттєво (з рівнем значимості α=0,05) впливає на час підводного гуманітарного розмінування. Крім цього, при рівні значимості двостороннього ризику α=0,01 в обох випадках можна говорити, що на час підйому вибухонебезпечного предмету особовим складом ДСНС впливають тільки рівень підготовленості та умови проведення підводного розмінування.

Ключові слова: гуманітарне підводне розмінування, водолаз-сапер, підйом, багатофакторні моделі, спеціалізовані пристрої

1. Вступ

Як в нашій країні, так і за кордоном накопичено величезний досвід щодо попередження та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій, які пов'язані з розмінуванням вибухонебезпечних предметів на суходолі. В той же час питання підвищення ефективності розвідки та розмінування водного середовища, особливо з урахуванням війни з росією вимагають свого покращення, оскільки кількість вибухонебезпечних предметів, які забруднюють мирні акваторії, суттєво збільшується, прикладом чого є акваторія між Антонівськими мостами в Херсоні.

Все це свідчить про те, що проблема підвищення ефективності підводного гуманітарного розмінування вибухонебезпечних предметів є актуальною.

2. Аналіз останніх публікацій і постановка проблеми

Під час розгляду попередження НС, пов'язаних з підводним розташуванням вибухонебезпечних предметів (ВНП), в [1] основна увага приділяється застосуванню принципу «не підривати», але на участі спеціально підготовленого особового складу вона не акцентується. В [2] розглядаються можливості підводних ро-

ботів, але це робиться без аналізу можливостей водолазів-саперів. Можливості людей в [3] досліджуються без визначення обмежень, що пов'язані з технічним оснащенням. Особлива роль водолазів-саперів підкреслена в документах Балтійської ради з безпеки боєприпасів (BOSB) [4], але там вони зосереджені здебільшого тільки на координації зусиль. А в Міжнародному стандарті IMAS 09.60 «Підводна розвідка та знешкодження вибухових речовин» [5] – на забезпеченні безпеки водолазів-саперів. В той же час питання підвищення ефективності їх діяльності з урахуванням системного впливу факторів, які характеризують людину, водне середовище, а також технічні засоби забезпечення підводного розмінування, не розглядались. Не розглядались вони і в Стандартній оперативній процедурі гуманітарного підводного розмінування [6], де основна увага приділяється підготовці особового складу.

В [7] приводяться результати обстеження конкретних підводних об'єктів, на яких знаходяться вибухонебезпечні предмети, але особливості забезпечення дій оперативного персоналу не розглядаються. Це, але в достатньо вузькому напрямку, зроблено в [8], де аналізуються особливості інформування піротехнічних підрозділів без оцінювання можливих ризиків. Це зроблено в [9]. Але і в цьому випадку, і у випадку [10], де конкретизуються тільки ризики, що пов'язані із здоров'ям, можливі небезпечні ситуації не описуються. Таке має місце в [11], але тільки для аналізу конкретних випадків. В [12] можливі небезпечні ситуації розглядаються з точки зору підготовки водолазів-саперів до конкретної ситуації. Тобто, в усіх цих випадках обмежуються розв'язанням вузьких задач.

Така ж ситуація має місце і тоді, коли розглядаються конкретні розробки. Так, в [13], де розглядається управління проектами потенційно небезпечних підводних об'єктів у складі технологічних інформаційних платформ, не звертають увагу на датчики ідентифікації морських мін, а в [14], де вони розглядаються, не уточнюють їх місце у складі інформаційних платформ. Хоча під час обговорення проблем підводного розмінування [15] особлива увага звертається на їх комплексний характер, хоча і в цьому випадку труднощі, пов'язані із підводним підйомом ВНП не розглядались. В [16] показано, що цього можна досягти за рахунок обґрунтування пропозицій щодо підвищення ефективності складних систем на основі аналізу закономірностей їх функціонування в цілому як системи «людина-техніка-середовище», але послідовність того, яким чином це доцільно здійснювати, не визначена, як не показані і особливості отримання таких закономірностей.

В [17] показано, що закономірності здійснення процесу підводного розмінування водолазом-сапером можна представити у вигляді трифакторних поліноміальних математичних моделей. Стосовно підйому водолазом-сапером вибухонебезпечного предмету водолазом-сапером ДСНС така модель наведена в [18]. Проте, в цих роботах не визначено, яким чином необхідно здійснити розгляд отриманих моделей, щоб обґрунтувати оперативно-технічні рекомендації. Це зроблено в [19], де наведена методика обґрунтування оперативно-технічних рекомендацій щодо скорочення часу гуманітарного підводного розмінування, а відповідно і нових способів його здійснення. Але і в цьому випадку не було показано, яким чином необхідно здійснювати багатофакторний порівняльний аналіз різних способів діяльності водолазів-саперів, особливо під час застосування нового технічного обладнання під час підводного підйому ВНП водолазами-саперами.

Таким чином, невирішеною частиною визначеної проблеми є відсутність

© І. І. Соловйов, М. Г. Грицаєнко, В. В. Стрілець, А. О. Мирошниченко

способу порівняльного аналізу моделей, які системно описують різноманітні варіанти підйому вибухонебезпечних предметів під час підводного гуманітарного розмінування водних акваторій.

3. Мета і завдання дослідження

Метою дослідження є двоступеневий порівняльний аналіз моделей, які описують різні варіанти підйому вибухонебезпечних предметів водолазами-саперами ДСНС під час підводного гуманітарного розмінування.

Для досягнення поставленої мети потребували вирішення наступні завдання:

1. Визначити параметри багатофакторної моделі підйому вибухонебезпечного предмету з глибини за допомогою спеціалізованого пристрою.

2. Провести двоступеневий порівняльний аналіз існуючої та розробленої моделей в натуральних та кодованих перемінних.

4. Матеріали та методи дослідження

Об'єкт дослідження – підводне гуманітарне розмінування водолазами-саперами. Предмет дослідження – порівняльний аналіз багатофакторних моделей підйому вибухонебезпечних предметів з глибини водолазами-саперами ДСНС. Робоча гіпотеза полягала в тому, що двоступеневе (спочатку в натуральних, а потім в кодованих перемінних) порівняння багатофакторних моделей (існуючої, що відповідає загальноприйнятому підходу щодо підйому вибухонебезпечних предметів з глибини та такої, що описує підйом вибухонебезпечного предмету у разі використання нових варіантів гуманітарного підводного розмінування), дозволить не тільки оцінити ефективність застосування нового підходу, але й визначити, як змінюється вплив обраних факторів за різних варіантів діяльності водолазів-саперів ДСНС.

Реалізація запропонованого способу багатофакторного порівняльного аналізу моделей гуманітарного підводного розмінування здійснюється шляхом порівняння загальноприйнятого варіанту підводного підйому вибухонебезпечного предмету та з використанням спеціалізованого технічного пристрою. Останній було зроблено у відділенні підводного розмінування групи піротехнічних робіт та спеціальних водолазних робіт ГУ ДСНС України у Херсонській області. Він представляє собою прямокутний «кошик» з жорсткими ребрами розміром 600х600х150 мм. Передбачалось, що його застосування повинно забезпечити як підвищення безпеки оперативної роботи, так і скорочення часу підводної діяльності за рахунок зменшення негативного впливу зовнішніх умов на результати діяльності водолазів-саперів ДСНС. Діяльність особового складу у випадку його застосування полягає у перекладанні вибухонебезпечного предмету із місця залягання в «кошик» і подальшому супроводі його (рис. 1) до місця підйому з водної поверхні на борт теплоходу розмінування ДСНС (рис. 2).

Останній етап також став не тільки більш швидким, але й значно безпечнішим, оскільки і водолаз-сапер, і сапер на борту під час вилучення вибухонебезпечного предмету з води знаходяться у відносно стаціонарному положенні.

5. Визначення параметрів моделі підйому вибухонебезпечного предмету з глибини за допомогою спеціалізованого пристрою

У [17] визначено, що багатофакторна модель підводного розмінування має вигляд:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{11}x_1^2 + b_2x_2^2 + \\ + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3, \quad (1)$$

де x_1 – рівень підготовленості водолаза-сапера (початковий $x_1 = -1$, фаховий $x_1 = 0$ та високо фаховий $x_1 = +1$); x_2 – умови, в яких працює особовий склад (гарні $x_2 = +1$, звичайні $x_2 = 0$ та погані $x_2 = -1$); x_3–рівень оснащеності (сухий гідрокостюм $x_3 = -1$; мокрий гідрокостюм $x_3 = +1$), в якій:

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

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.

При цьому модель (1) можна отримати в результаті реалізації плану 3x3x2 багатофакторного експерименту.

Рис. 1. Супровід «кошика» з вибухонебезпечним предметом під водою

Рис. 2. Підйом «кошика» з вибухонебезпечним предметом на борт теплохода

© І. І. Соловйов, М. Г. Грицаєнко, В. В. Стрілець, А. О. Мирошниченко

Використання (4–17), наведених в [19], дозволило отримати вихідні дані (в табл. 1 наведено приклад отримання відповідних оцінок за результатами, які надали експерти для ситуації з найгіршим поєднанням факторів) у відповідності до обраного плану 3х3х2 (табл. 2).

Наявність результатів багатофакторного експерименту у відповідності до плану 3х3х2 (табл. 2) дозволяє перейти до отримання трифакторної поліноміальної моделі (3) підйому вибухонебезпечного предмету водолазами-саперами зі застосуванням спеціалізованого пристрою, але для цього необхідно перейти до нормованого у відповідності до (2) подання вихідних даних (табл. 3).

Табл. 1. Результати аналізу експертних оцінок для ситуації підйому вибухонебезпечного предмету з глибини із застосуванням спеціалізованого пристрою «кошика» з найкращим поєднанням факторів

Показник	Експерт							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$t_{j\,min}$, хв.	4	4	4	5	4	3,5	3,5	3,5
$t_{j\,min}$, с	240	240	240	300	240	210	210	210
$\tilde{t}_j$, хв.	5,5	5,5	5	6,5	5	5,5	5,5	5
$\tilde{t}_j$, с	330	330	300	390	300	330	330	300
$t_{j\max}$, хв.	6,5	6,5	6,5	7,5	7,5	8,5	7	6,5
$t_{j\max}$, с	390	390	390	450	450	510	420	390
$\tilde{x}_i$	0,600	0,600	0,400	0,600	0,286	0,400	0,571	0,600
v	2	2	2	2	1	2	2	3
W	$W \geq W_{доп}(\alpha = 0{,}05)$ – має місце невипадкова узгодженість експертів. Розподіл часу підйому вибухонебезпечного предмету за найкращого поєднання факторів може розглядатись як нормальний, оскільки не має скошеного характеру							
$\tilde{t}_{(-1,-1,-1)}$, с	329,60							
$\sigma_{(-1,-1,-1)}$, с	30,29							

Табл. 2. Результати експертного оцінювання розглянутих у відповідності до плану 3х3х2 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
$\tilde{t}$, с	647,3	618,5	576,3	544,2	548,5	518,8	568,6	530,2	489,6
$\sigma_{,c}$	75,23	64,59	65,26	59,16	59,35	60,12	55,28	51,26	53,12
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
$\tilde{t}$, с	453,2	446,3	406,9	546,3	489,0	445,9	395,6	389,1	329,6
$\sigma_{,c}$	45,89	47,18	40,26	51,25	44,68	45,12	38,14	39,45	30,29

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_{ii}, b_{ij} можна використовувати [20] готові формули:

$$b_0 = A_0(0Y) - \sum A_{0i}(ii\,0Y), \tag{3}$$

$$b_i = A_i(iY), \tag{4}$$

$$b_{ij} = A_{ij}(ijY), \tag{5}$$

$$b_{ii} = A_{ii}(iiY) - A_{0i}(0Y), \tag{6}$$

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.

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
$\tilde{\bar{x}}$	1,000	0,910	0,777	0,675	0,689	0,595	0,752	0,631	0,504
$\sigma_{\bar{x}}$	0,116	0,104	0,113	0,109	0,108	0,116	0,097	0,097	0,109
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
$\tilde{\bar{x}}$	0,389	0,367	0,243	0,682	0,502	0,366	0,208	0,187	0,000
$\sigma_{\bar{x}}$	0,101	0,106	0,099	0,094	0,091	0,101	0,096	0,101	0,092

Це дозволило за отриманими результатами (табл. 3), використовуючи (3–6), розрахувати коефіцієнти трифакторної квадратичної моделі (1), які встановлюють кількісний зв'язок між часом підйому вибухонебезпечного предмету (в нормованих перемінних) та обраними факторами:

$$\begin{gathered} y_{\text{кошик}} = 0{,}440 - 0{,}227 \cdot x_1 - 0{,}201 \cdot x_2 - 0{,}065 \cdot x_3 + \\ + 0{,}068 \cdot x_1^2 + 0{,}061 \cdot x_2^2 - 0{,}059 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0{,}044 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0{,}020 \cdot x_2 \cdot x_3 . \end{gathered} \tag{7}$$

Для визначення адекватності моделі (7) була перевірена гіпотеза щодо однорідності ряду дисперсій по σ-критерію Кохрена [21]:

$$Kh = \left(\sigma_u^2\right)_{max} \Big/ \sum_{n=1}^{n} \sigma_n^2 = \frac{0{,}014}{0{,}191} = 0{,}071, \tag{8}$$

де $\left(\sigma_u^2\right)_{max}$ – максимальна дисперсія в ряду, що розглядається; n=18 – кількість точок обраного плану 3x3x2.

Оскільки при рівні ризику $\alpha = 0{,}05$, числі ступенів свободи $f_1 = 18 - 1 = 17$ та

© І. І. Соловйов, М. Г. Грицаєнко, В. В. Стрілець, А. О. Мирошниченко

$n=18$ табличне значення $\sigma_{табл}=0{,}122$, тобто $\sigma^2<\sigma^2{}_{табл}$, отриманий результат (8) підтверджує адекватність моделі (7).

Таким чином, отримано багатофакторну модель підйому вибухонебезпечного предмету водолазами-саперами із застосуванням спеціалізованого пристрою 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, яку можна використовувати для порівняння з багатофакторною моделлю підйому вибухонебезпечного предмету з глибини, у разі застосування водолазами-саперами загальноприйнятого способу.

6. Порівняльний аналіз існуючої та розробленої моделей в натуральних та кодованих перемінних

Наявність моделі (7), яка описує підйом водолазом-сапером вибухонебезпечного предмету у разі застосування спеціалізованого пристрою, дозволяє отримати оцінку середнього часу [с] підйому вибухонебезпечного предмету водолазом-сапером у відповідності до визначеного співвідношення обраних факторів, здійснивши зворотній перехід у відповідності до (2):

$$\begin{aligned} t_{кошик} = y_{кошик}(x_1,x_2,x_3)\cdot\left[\tilde{t}(-1,-1,-1)-\tilde{t}(+1,+1,+1)\right]+\tilde{t}(+1,+1,+1)= \\ =468{,}8-71{,}5\cdot x_1-63{,}2\cdot x_2-20{,}5\cdot x_3+21{,}4\cdot x_1^2+19{,}3\cdot x_2^2- \\ -13{,}7\cdot x_1\cdot x_2-6{,}3\cdot x_1\cdot x_3+0{,}34\cdot x_2\cdot x_3 \end{aligned}. \quad (9)$$

Аналогічним чином, враховуючи наявність моделі підйому вибухонебезпечного предмету загальноприйнятим способом:

$$\begin{aligned} y_{підйом}=0{,}423-0{,}152\cdot x_1-0{,}279\cdot x_2-0{,}056\cdot x_3+ \\ +0{,}057\cdot x_1^2+0{,}069\cdot x_2^2-0{,}038\cdot x_1\cdot x_2-0{,}023\cdot x_1\cdot x_3+0{,}004\cdot x_2\cdot x_3 \end{aligned}, \quad (10)$$

а також вихідні дані для її отримання, наведені в [х], можна визначити і її параметри в натуральних перемінних:

$$\begin{aligned} t_{підйом}=617{,}2-79{,}9\cdot x_1-146{,}5\cdot x_2-29{,}4\cdot x_3+30{,}3\cdot x_1^2+36{,}4\cdot x_2^2- \\ -19{,}7\cdot x_1\cdot x_2-12{,}2\cdot x_1\cdot x_3+2{,}17\cdot x_2\cdot x_3 \end{aligned}. \quad (11)$$

Порівняльний аналіз моделей підйому вибухонебезпечного предмету зі застосуванням спеціалізованого приладу (рис. 3) та звичайним способом (рис. 4) показує, що найменша різниця під час відповідної роботи водолаза-сапера буде у випадку найкращого поєднання обраних факторів.

Виходячи з цього, для визначення того, що ефект від підйому за допомогою спеціалізованого пристрою є значимим, для розгляду були обрані вихідні дані, за яких розроблялись моделі (9) та (11), при найкращих значеннях фактору рівня підготовленості водолазів-саперів (x_1=+1), зовнішніх умов (x_2=+1) та обладнання (x_3=+1).

Наявність оцінок математичних очікувань і середньоквадратичних відхилень

для отриманих вибірок часу підйому вибухонебезпечного предмету водолазом-сапером загальноприйнятим способом [18] (табл. 2) та із застосуванням спеціально створеного пристрою (табл. 2) дозволило виконати перевірку того, наскільки різняться середні значення, отримані по незалежних вибірках дослідження, використовуючи t-критерій Стьюдента [21].

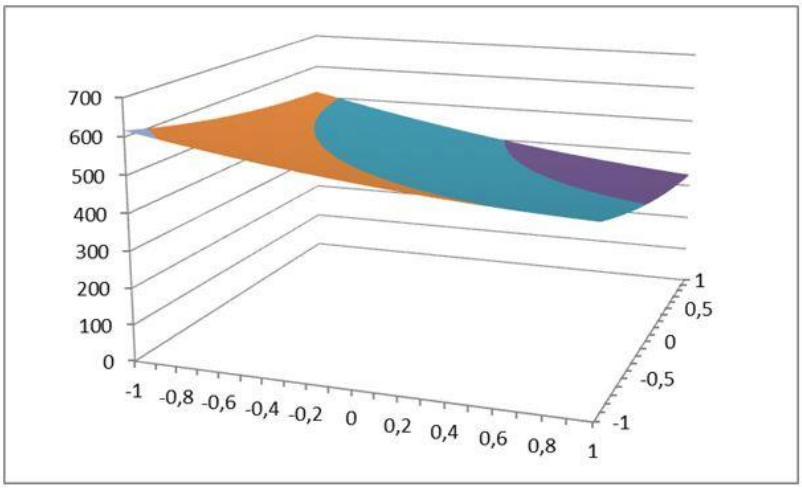

Рис. 3. Залежність часу підйому підйому вибухонебезпечного предмету від рівня підготовленості водолазів-саперів та умов, в яких вони працюють при використанні спеціалізованого пристрою

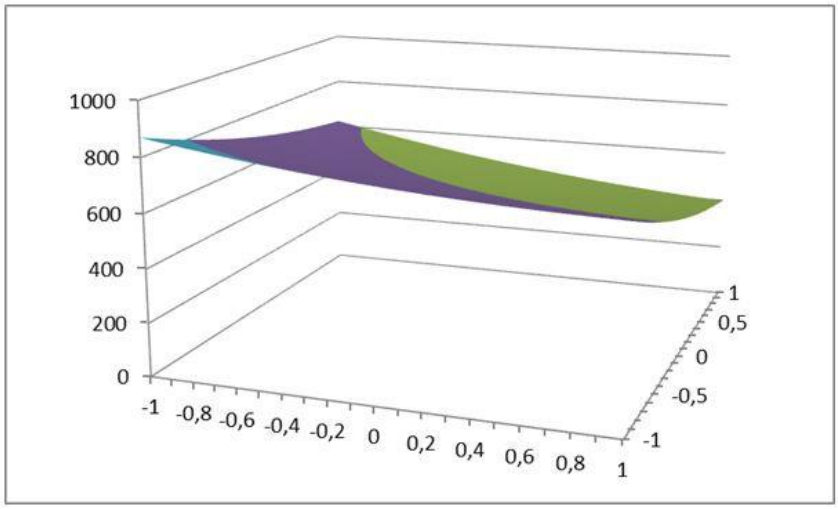

Рис. 4. Залежність часу підйому вибухонебезпечного предмету від рівня підготовленості водолазів-саперів та умов, в яких вони працюють при використанні звичайного способу

В цьому випадку розглядалась гіпотеза:

$$H_0 : t_{\text{підйом}} = t_{\text{кошик}} \tag{12}$$

та її альтернатива:

$$H_1 : t_{\text{підйом}} \neq t_{\text{кошик}}, \tag{13}$$

яка доводить відмінність середніх значень.

З метою вибору конкретної методики розрахунку t-критерію [21] спочатку

© І. І. Соловйов, М. Г. Грицаєнко, В. В. Стрілець, А. О. Мирошниченко

була перевірена гіпотеза про рівність дисперсій. У якості критерію для перевірки нуль-гіпотези:

$$H_0 : \sigma^2_{\text{підйом}} = \sigma^2_{\text{кошик}} \tag{14}$$

був обраний F-критерій:

$$F = \sigma_1^2 \Big/ \sigma_2^2 = \frac{49{,}87^2}{30{,}29^2} \approx 2{,}71, \tag{15}$$

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

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

$$\upsilon_{\text{підйом}} - 1 = 7, \qquad \upsilon_{\text{кошик}} - 1 = 7, \tag{16}$$

де $n_{\text{підйом}} = n_{\text{кошик}} = 8$ – кількість оцінок, за результатами яких оцінювалися статистичні характеристики отриманих розподілів, дорівнює [20]:

$$F_{кр} = F_{табл} = 3{,}8 > F = 2{,}71, \tag{17}$$

що свідчить про те, що з рівнем значимості α=0,05 можна стверджувати про рівність дисперсій.

Виходячи з цього, стандартна помилка різниці $S_{(п-к)}$, з урахуванням того, що вибірки малого розміру (<30), і число ступенів свободи υ при обчисленні t-критерію розраховуються [21] наступним чином:

$$S_{(п-к)} = \sqrt{\frac{(n_{\text{підйом}} - 1)\cdot\sigma_4^2 + (n_{\text{кошик}} - 1)\cdot\sigma_6^2}{n_{\text{підйом}} + n_{\text{кошик}} - 2} \cdot \left(\frac{1}{n_{\text{підйом}}} + \frac{1}{n_{\text{кошик}}}\right)} = 20{,}63, \tag{18}$$

$$\upsilon = n_{\text{підйом}} + n_{\text{кошик}} - 2 = 14. \tag{19}$$

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

$$t_{набл} = \frac{\left|\tilde{t}_{\text{підйом}} - \tilde{t}_{\text{кошик}}\right|}{S_{(п-к)}} = 3{,}18. \tag{20}$$

Оскільки:

$$t_{набл} = 3{,}18 > t_{табл}(\alpha = 0{,}05) = 1{,}895, \tag{21}$$

можна стверджувати, що використання спеціалізованого технічного приладу у

вигляді прямокутного «кошика» з жорсткими ребрами для підйому вибухонебезпечного предмету водолазами-саперами суттєво впливає на час підводного гуманітарного розмінування.

Адекватність моделі (22), яка була підтверджена за σ- критерієм Кохрена (24), дозволяє під час подальшого її аналізу користуватись середньої нормованою дисперсією отриманих експертних оцінок:

$$\sigma^2_{\tilde{x}} = \frac{1}{18} \cdot \sum_{n=1}^{18} \sigma_n^2 \approx 0{,}0106. \tag{22}$$

В результаті цього для розрахунку значень дисперсій оцінок отриманих коефіцієнтів також можна використовувати готові [19] вирази:

$$\sigma_{\tilde{x}}\{b_0\} = A_0 \cdot \sigma_{\tilde{x}} = 0{,}5022 \cdot 0{,}103 = 0{,}052, \tag{23}$$

$$\sigma_{\tilde{x}}\{b_i\} = A_i \cdot \sigma_{\tilde{x}} = 0{,}3333 \cdot 0{,}103 = 0{,}0344, \tag{24}$$

$$\sigma_{\tilde{x}}\{b_{ij}\} = A_{ij} \cdot \sigma_{\tilde{x}} = 0{,}2887 \cdot 0{,}103 = 0{,}0298, \tag{25}$$

$$\sigma_{\tilde{x}}\{b_{ii}\} = A_{ii} \cdot \sigma_{\tilde{x}} = 0{,}4082 \cdot 0{,}103 = 0{,}042, \tag{26}$$

які застосовуються для обчислювання відповідних критичних значень:

$$b_{кр} = t \cdot \sigma\{b\}, \tag{27}$$

де t береться по табл. [21] при обраному рівні значимості α та числі ступенів свободи f=n=18.

Отримані значення (27) дозволяють, як і у випадку аналізу (табл. 5) багатофакторної моделі (10) загально прийнятого способу підйому вибухонебезпечного предмету водолазами-саперами [19], розрахувати при кожному рівні ризику α за (28) критичні значення коефіцієнтів (табл. 6) для моделі (7), побудувати графи зв'язку між факторами, а також здійснити їх подальший аналіз.

Отримані значення (27) дозволяють при кожному рівні ризику α побудувати та проаналізувати графи зв'язку між факторами. На рис. 5 показані такі графи при зростаючому ризику для моделі (10), яка описує звичайний процес підводного гуманітарного розмінування, а на рис. 6 – для моделі (7), яка характеризує такий процес із застосуванням спеціалізованого пристрою.

Аналіз табл. 5 та табл. 6 показує, що при рівні значимості двостороннього ризику α=0,01 в обох випадках можна говорити, що на час підйому вибухонебезпечного предмету особовим складом ДСНС, впливають тільки рівень підготовленості x_1 та умови проведення підводного розмінування x_2. Видно (рис. 7 та рис. 8), що у випадку використання спеціалізованого пристрою суттєво зменшився вплив фактору x_2, який характеризує зовнішні умови подолання надзвичайної ситуації. І саме така задача ставилась за результатами аналізу багатофакторної моделі загальноприйнятого процесу підводного розмінування в [18]. Одночасно

© І. І. Соловйов, М. Г. Грицаєнко, В. В. Стрілець, А. О. Мирошниченко

більш важливим став фактор x_1 підготовленості водолазів-саперів, що свідчить про необхідність спеціальних занять по застосуванню спеціалізованого пристрою в процесі проведення гуманітарного підводного розмінування.

Табл. 5. Критичні значення коефіцієнтів моделі (10) загальноприйнятого способу підйому вибухонебезпечного предмету

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

Табл. 6. Критичні значення коефіцієнтів моделі (7) підйому вибухонебезпечного предмету із застосуванням спеціалізованого пристрою

α	0,01	0,05	0,1	0,2
t	2,552	1,734	1,33	0,862
$b_{0\,кр}$	0,1322	0,0898	0,0689	0,0446
$b_{i\,кр}$	0,0877	0,0596	0,0457	0,0296
$b_{ij\,кр}$	0,076	0,0516	0,0396	0,0257
$b_{ii\,кр}$	0,1074	0,073	0,056	0,0363

На рис. 5 та рис. 6 чорним кольором зафарбовані значущі лінійні ефекти, петля – значущий квадратичний ефект, ребра графа – значущими є ефекти взаємодії.

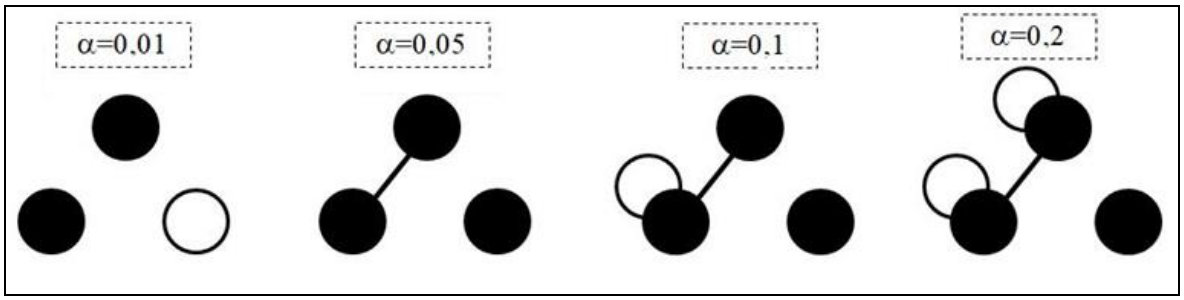

Рис. 5. Аналіз графів зв'язку між трьома факторами x_i за різного рівня відхилення правильної гіпотези для моделі (10)

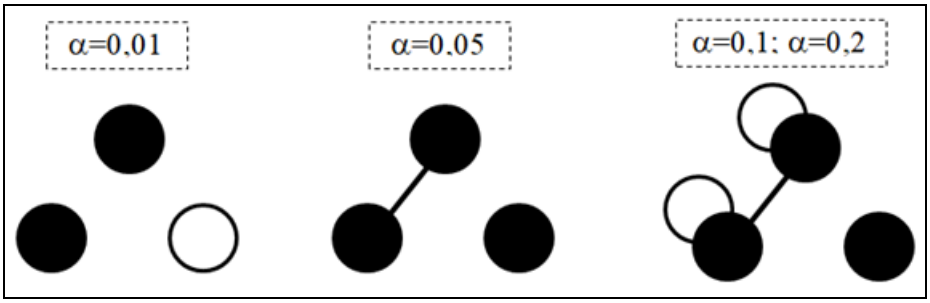

Рис. 6. Аналіз графів зв'язку між трьома факторами x_i за різного рівня відхилення правильної гіпотези для моделі (7)

В той же час з рівнем значимості α=0,05 можна стверджувати, що в обох випадках 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.

Одночасно 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.

Крім цього, під час проведення пошукових досліджень, а дослідження систем «людина – техніка – середовище» відносяться саме до таких [20], можна давати висновки з рівнем значимості до 0,1–0,2, підвищену увагу потрібно звернути на підготовку водолазів-саперів, доказом чого є наявність квадратичних ефектів.

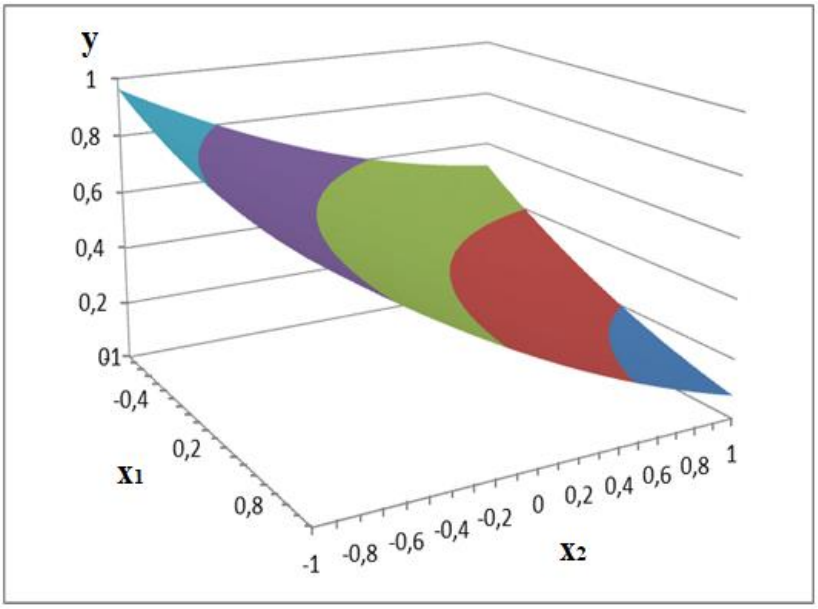

Рис. 7. Залежність (в кодованих перемінних) часу підйому із застосуванням загальноприйнятого способу вибухонебезпечного предмету від рівня підготовленості водолазів-саперів та умов, в яких вони працюють

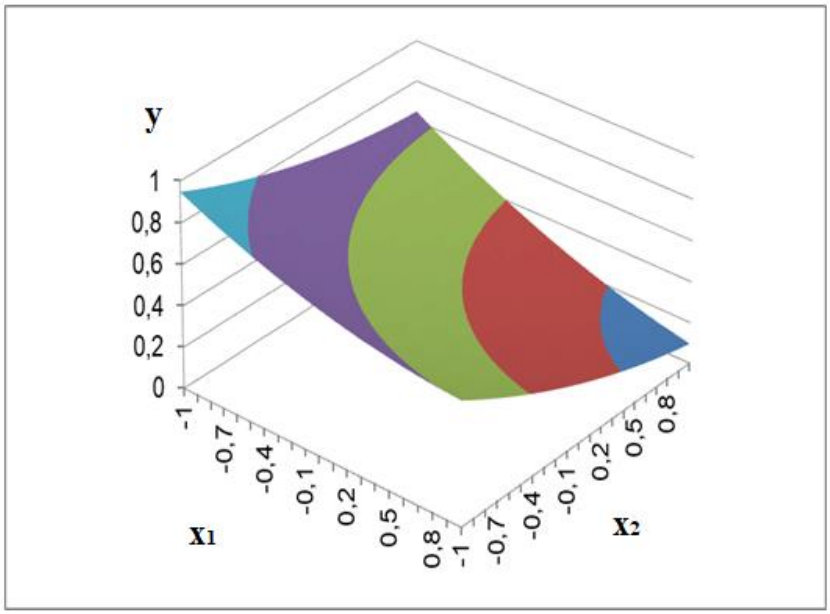

Рис. 8. Залежність (в кодованих перемінних) часу підйому із застосуванням спеціалізованого пристрою вибухонебезпечного предмету від рівня підготовленості водолазів-саперів та умов, в яких вони працюють

© І. І. Соловйов, М. Г. Грицаєнко, В. В. Стрілець, А. О. Мирошниченко

Таким чином, порівняльний аналіз існуючої та розробленої у відповідності до випадку застосування спеціалізованого пристрою моделей підтвердив, що використання спеціалізованого технічного приладу у вигляді прямокутного «кошика» з жорсткими ребрами для підйому вибухонебезпечного предмету водолазами-саперами суттєво (з рівнем значимості α=0,05) впливає на час підводного гуманітарного розмінування. Крім цього, при рівні значимості двостороннього ризику α=0,01 як під час використання загальноприйнятого способу, так і у випадку використання водолазами-саперами можна говорити, що на час підйому вибухонебезпечного предмету особовим складом ДСНС впливають тільки рівень підготовленості x_1 та умови проведення підводного розмінування x_2. Проте, у випадку використання спеціалізованого пристрою суттєво зменшився вплив фактору x_2, який характеризує зовнішні умови подолання надзвичайної ситуації, і більш важливим став фактор x_1 підготовленості водолазів-саперів у порівнянні x_2, що свідчить про необхідність спеціальних занять по застосуванню спеціалізованого пристрою в процесі проведення гуманітарного підводного розмінування. Одночасно 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.

7. Обговорення результатів аналізу моделей гуманітарного підводного підйому вибухонебезпечних предметів

Двоступеневе (спочатку в натуральних, а потім в кодованих перемінних) порівняння багатофакторних моделей (існуючої, що відповідає загальноприйнятому підходу щодо підйому вибухонебезпечних предметів з глибини, та такої, що описує підйом вибухонебезпечного предмету у разі використання нових варіантів гуманітарного підводного розмінування) під час реалізації зворотного зв'язку в існуючій методиці обґрунтування оперативно-технічних рекомендацій щодо скорочення часу гуманітарного підводного розмінування дозволяє не тільки оцінити ефективність застосування нового підходу, але й визначити, як змінюється вплив обраних факторів за різних варіантів діяльності водолазів-саперів ДСНС. Реалізація такого підходу сприяє подальшому розвитку оперативно-технічного методу скорочення часу ліквідації надзвичайних ситуацій техногенного характеру. Перевірка розробленого способу багатофакторного порівняльного аналізу моделей підводного підйому вибухонебезпечних предметів здійснена на прикладі застосування спеціалізованого технічного приладу у вигляді прямокутного «кошика» з жорсткими ребрами розміром 600х600х150 мм. Останній було зроблено у відділенні підводного розмінування групи піротехнічних робіт та спеціальних водолазних робіт ГУ ДСНС України у Херсонській області.

Особливістю запропонованого способу багатофакторного порівняльного аналізу моделей підводного гуманітарного розмінування у порівнянні з існуючими, перевірка ефективності діяльності за допомогою яких спирається на безпосередню оцінку, як правило, у конкретних точках (за результатами порівняння моделей в натуральних перемінних) з рівнем значимості α=0,05 ефективності від впровадження запропонованих оперативно-технічних заходів на всьому можливому діапазоні, а також визначення впливу обраних для аналізу факторів під час здійснення різних варіантів гуманітарного підводного розмінування (за результатами порівняння моделей в кодованих перемінних). В результаті набула подальшого розвитку методика обґрунтування оперативно-технічних рекомендацій що-

до скорочення часу підйому вибухонебезпечного предмету водолазами-саперами ДСНС, яка спирається на трифакторний квадратичний поліном, 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.

Під час розробки оперативно-технічних рекомендацій, пов'язаних із застосуванням під час підйому водолазами-саперами ДСНС з глибини вибухонебезпечного предмету спеціалізованого технічного приладу у вигляді прямокутного «кошика», ефективність застосування якого під час підводного розмінування у порівнянні із загальноприйнятим підходом підтверджена з рівнем значимості α=0,05, як і у випадку використання загальноприйнятого підходу, 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. При цьому у випадку використання спеціалізованого пристрою суттєво зменшився вплив фактору x_2, який характеризує зовнішні умови подолання надзвичайної ситуації. Одночасно більш важливим став фактор x_1 підготовленості водолазів-саперів у порівнянні, що свідчить про необхідність спеціальних занять по застосуванню спеціалізованого пристрою в процесі проведення гуманітарного підводного розмінування. В той же час, в обох випадках підвищення рівня підготовленості більш сильно проявляється у водолазів-саперів з первинним рівнем і саме для них на зниження ефективності підводного розмінування будуть сильніше впливати погані зовнішні умови роботи.

Слабкою стороною застосування обраного підходу є необхідність створення дослідного зразка того спеціалізованого пристрою, який передбачається впровадити в оперативну діяльність відділення підводного розмінування, а також обмеження в бойовій роботі водолазів-саперів ДСНС, що пов'язані з використанням ними на сьогоднішній день тільки апаратів на стисненому повітрі на глибині тільки до 10 м. Крім того, залишилась необхідність залучення під час побудови нових багатофакторних моделей висококваліфікованих фахівців підводного розмінування, що одночасно мають знання та навички як в практиці розмінування водних акваторій, так і в організації експериментальних досліджень.

Наявність квадратичних ефектів під час аналізу розробленої багатофакторної моделі підйому вибухонебезпечного предмету водолазами-саперами ДСНС показує, що під час проведення пошукових досліджень підвищену увагу треба приділити не тільки питанням організації підготовки водолазів-саперів, як це має місце у випадку використання загальноприйнятого підходу, але й дослідженню того, як можуть змінюватись зовнішні умови під час оперативної діяльності відділення підводного розмінування. Загрозою, яка остається 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 перестрахування), так і до людських жертв (у разі недостатньої уваги питанням безпеки). Тобто, основною остається проблема залучення високофахових спеціалістів з підводного розмінування для їх використання у якості експертів.

8. Висновки

1. За результатами реалізації плану 3x3x2 отримано багатофакторну модель підйому вибухонебезпечного предмету водолазами-саперами із застосуванням

© І. І. Соловйов, М. Г. Грицаєнко, В. В. Стрілець, А. О. Мирошниченко

спеціалізованого пристрою 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, яке можна використовувати для порівняння з багатофакторною моделлю підйому вибухонебезпечного предмету з глибини у разі застосування водолазами-саперами загальноприйнятого способу.

2. Порівняльний аналіз існуючої та розробленої у відповідності до випадку застосування спеціалізованого пристрою моделей підтвердив, що використання спеціалізованого технічного приладу у вигляді прямокутного «кошика» з жорсткими ребрами для підйому вибухонебезпечного предмету водолазами-саперами суттєво (з рівнем значимості α=0,05) впливає на час підводного гуманітарного розмінування. Крім цього, при рівні значимості двостороннього ризику α=0,01 як під час використання загальноприйнятого способу, так і у випадку використання водолазами-саперами можна говорити, що на час підйому вибухонебезпечного предмету особовим складом ДСНС впливають тільки рівень підготовленості x_1 та умови проведення підводного розмінування x_2. Проте, у випадку використання спеціалізованого пристрою суттєво зменшився вплив фактору x_2, який характеризує зовнішні умови подолання надзвичайної ситуації, більш важливим став фактор x_1 підготовленості водолазів-саперів у порівнянні x_2, що свідчить про необхідність спеціальних занять по застосуванню спеціалізованого пристрою в процесі проведення гуманітарного підводного розмінування. Одночасно 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. Під час проведення подальших досліджень підвищену увагу потрібно звернути на використання водолазами-саперами новітніх технічних засобів, які, в першу чергу, забезпечують проведення пошуку вибухонебезпечних предметів під час гуманітарного розмінування, а також визначення особливостей роботи на глибині більше, ніж 10 м.

Література

1. Huet C., Mastroddi F. Autonomy for underwater robots. European perspective. Auton Robot. 2016. Vol. 40. P. 1113–1118. doi: 10.1007/s10514-016-9605-x

2. Cooper N., Cooke S, Burgess K., Business R. 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

3. Mijajlovic V. The Regional Center for Divers Training and Underwater Demining. The Journal of ERW and Mine Action. 2013. 17(2/13). URL: https://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol17/iss2/13

4. Miller Gunnar. From a DC-3 to BOSB: The Road to a Breakthrough in Military Safety Measures Against the Risks of Historic, Explosive Ordnance. Marine Technology Society Journal, Volume 45, Number 6, November/December. 2011. № 9. P. 26–34. doi: 10.4031/MTSJ.45.6.1

5. IMAS 09.60:2014, IDT. Underwater Survey and Clearance of Explosive Ordnance (EO). URL: https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/www.mineactionstandards.org_fileadmin_MAS_documents_imas-international-standards_english_series-09_IMAS_09.60_Underwater_Survey_and_Clearance_of_Explosive_Ordnance__EO_.pdf

6. Standard Operating Procedures for Humanitarian Underwater Demining in South Eastern Europe. URL: https://old.mineactionstandards.org/fileadmin/MAS/documents/references-publications/Humanitarian-Underwater-Demining-in-South-Eastern-Europe.pdf

7. Mareike K., Eefke M., Uwe W., Jens G. Exploration of the munition dumpsite Kolberger Heide in Kiel Bay, Germany: Example for a standardize dhydro acoustic and optic monitoring approach. ContinentalShelfResearch. 2020. doi: 10.1016/j.csr.2020.104108

8. Коцюруба В. Обґрунтування доцільності використання способу повітряної розвідки районів інтенсивного застосування мінної зброї. / В. Коцюруба, С. Цибуля, В. Рибалко. Journal of Scientific Papers "Social development and Security". 2019. № 9(1). С. 60–68. doi: 10.33445/sds.2019.9.1.5

9. Sayle S., Windeyer T., Charles M., Conrod S., Stephenson M. Site Assessment and Risk Management Frame work for Underwater Munitions. Marine Technology Society Journal. 2009. № 43(4), P. 41–51. doi: 10.4031/MTSJ.43.4.10

10. Mijajlovic V. The Regional Center for Divers Training and Underwater Demining. The Journal of ERW and Mine Action: 2013. 17(2/13). URL: https://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol17/iss2/13

11. Humanitarian Demining, Geneva International Centre for, "A Guide to Survey and Clearance of Underwater Explosive Ordnance". 2016. Global CWD Repository. P. 1326. URL: https://commons.lib.jmu.edu/cisr-globalcwd/1326

12. Marco W., Irwin L. Training to Become Cambodia's First Underwater Deminers. The World (Arts, Culture & Media). March 07. 2013. 12:40 PM CST. URL: https://www.pri.org/stories/2013-03-07/training-become-cambodias-first-underwater-deminers

13. 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

14. Tellez O., Borghgraef A., Mersch E. (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, VincianeLacroix, Nada Milisavljevic and Yann Yvinec, Intech Open, doi: 10.5772/66994

15. International Symposium Mine Action 2019 8th to 11th April 2019, Slano, Croatia. URL: http://www.ctro.hr/wp-content/uploads/2019/04/Knjiga-za-web-4-mb.pdf

16. 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. URL: http://repositsc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/1944/1/%d0%a1%d0%98%d0%90.pdf

17. Соловйов І. Математична модель підводного розмінування водолазами-саперами ДСНС України. Комунальне господарство міст. 2021. 6(166). С. 175–183. doi: 10.33042/2522-1809-2021-6-166-175-183

18. Соловйов І., Стрілець В., Льовін Д. Багатофакторна модель підйому водолазом-сапером вибухонебезпечного предмету. Проблеми надзвичайних ситуацій. 2021. 2(34). С. 272–294. doi: 10.52363/2524-0226-2021-34-20

19. Соловйов І., Стрілець В., Бляшенко О., Серватюк В., Пруський, А. Методика обґрунтування оперативно-технічних рекомендацій щодо скорочення часу підводного розмінування водолазами-саперами Державної служби України з надзвичайних ситуацій. Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека. 2022. 2(14). С. 108–121. doi: 10.33269/nvcz.2022.2(14).108-121

20. Вознесенский В. А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях. Финансы и статистика, 1981. 263 с.

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

***I. Solovyov*[1]**, *Adjunct*
***M. Hrytsaienko*[2]**, *PhD, First Deputy Head of the State Emergency Service of the National Emergency*
***V. Strelets*[3]**, *PhD, supervisor EORE*
***A. Myroshnychenko*[1]**, *Deputy Head of Department*
[1]*National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine*
[2]*State Emergency Service of Ukraine, Kyiv, Ukraine,*
[3]*International Humanitarian Organization The Halo Trust, Kharkiv, Ukraine*

TWO-STAGE PORIVATIONAL ANALYSIS OF MODELS OF PIDWATER PIDYOM OF VIBUCHONOSAFE OBJECTS

A method of multifactorial analysis of models of humanitarian underwater demining has been developed. It provides for the implementation of feedback in the existing methodology for substantiating operational and technical recommendations for reducing the time of humanitarian underwater demining by sapper divers by means of a two-stage (first in natural, and then in coded variables) comparison of multifactor models that describe various options for humanitarian underwater demining. This is due to the fact that an important and unresolved part of the problem of increasing the effectiveness of prevention of emergency situations related to the underwater location of explosive objects is the lack of a scientifically based approach to the multifactorial analysis of various methods of underwater humanitarian demining. The method is considered on the example of a two-stage comparative analysis of multi-factor models of underwater lifting of explosive objects by divers-sappers of the State Emergency Service of Ukraine by using a generally accepted approach and in the case of using a specialized device in the form of a rectangular "basket" with rigid ribs measuring 600x600x150 mm, which was made at the State Emergency Service Department of Ukraine in Kherson region. Multivariate analysis of the existing and new models confirmed that the use of a specialized technical device for lifting an explosive object by sapper divers significantly (with a significance level of α=0,05) affects the time of underwater humanitarian demining. In addition, with the level of significance of two-sided risk α=0,01 in both cases, it can be said that only the level of preparedness and the conditions of underwater demining affect the time of lifting an explosive object by the personnel of the State Emergency Service.

Keywords: humanitarian underwater demining, diver-sapper, lifting, multifactorial models, specialized devices

References

1. Huet, C., Mastroddi, F. (2016). Autonomy for underwater robots. European perspective. Auton Robot, 40, 1113–1118. doi: 10.1007/s10514-016-9605-x

2. Cooper, N., Cooke, S., Burgess, K., Business, R. (2018). 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

3. Mijajlovic, V. (2013). The Regional Center for Divers Training and Underwa-

ter Demining. The Journal of ERW and Mine Action. 17(2/13). Available at: https://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol17/iss2/13

4. Miller, 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, Volume 45, Number 6, November/December 2011, 9, 26–34. doi: 10.4031/MTSJ.45.6.1

5. IMAS 09.60:2014, IDT. Underwater Survey and Clearance of Explosive Ordnance (EO). Available at: 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

6. Standard Operating Procedures for Humanitarian Underwater Demining in South Eastern Europe. Available at: https://old.mineactionstandards.org/fileadmin/MAS/documents/references-publications/Humanitarian-Underwater-Demining-in-South-Eastern-Europe.pdf

7. Mareike, K., Eefke, M., Uwe, W., Jens, G. (2020). Exploration of the munition dumpsite KolbergerHeide in Kiel Bay, Germany: Example for a standardized hydro acoustic and optic monitoring approach. Continental Shelf Research, 198, 104108. doi: 10.1016/j.csr.2020.104108

8. Kotsyuruba, V., Tsybulia, S., Rybalko, V. (2019). Obgruntuvannya dotsil′nosti vykorystannya sposobu povitryanoyi rozvidky rayoniv intensyvnoho zastosuvannya minnoyi zbroyi [Justification of the using of the method of air reconnaissance of area of intensive application of mine weapons]. Social development & Security, 9 (1), 60–68. doi: 10.33445/sds.2019.9.1.5 [in Ukrainian]

9. Sayle, S., Windeyer, T., Charles, M., Conrod, S., Stephenson, M.(2009). Site Assessment and Risk Management Framework for Underwater Munitions. Marine Technology Society Journal, 43(4), 41–51. doi: 10.4031/MTSJ.43.4.10

10. Mijajlovic, V. (2013). The Regional Center for Divers Training and Underwater Demining. The Journal of ERW and Mine Action : 17(2/13). Available at: https://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol17/iss2/13

11. Humanitarian Demining, Geneva International Centre for, "A Guide to Survey and Clearance of Underwater Explosive Ordnance" (2016). Global CWD Repository, 1326. Available at: https://commons.lib.jmu.edu/cisr-globalcwd/1326

12. Marco, W., Irwin, L. (2013). Training to Become Cambodia's First Underwater Deminers. The World (Arts, Culture & Media). March 07, 12:40 PM CST. Available at: https://www.pri.org/stories/2013-03-07/training-become-cambodias-first-underwater-deminers

13. Hrytsaienko, M. (2017). Development of the information platform model for the neutralization of potentially dangerous underwater objects. Technology Audit and Production Reserves, 2(2(40), 57–62. doi: 10.15587/2312-8372.2018.129208

14. Tellez, O., Borghgraef, A., Mersch, E. (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, VincianeLacroix, Nada Milisavljevic and YannYvinec, Intech Open, doi: 10.5772/66994

15. International Symposium Mine Action 2019 8th to 11th April 2019, Slano, Croatia. Available at: http://www.ctro.hr/wp-content/uploads/2019/04/Knjiga-za-web-4-mb.pdf

16. Strelec, V. (2001). Imitacionnyj analiz sistemy «chelovek-mashina» kak metod

ergonomicheskoj ocenki funkcionirovaniya avarijnyh sluzhb. Nauchno-tehnicheskij zhurnal: Radioelektronika iinformatika, 3(16), Harkov: HNTURE, 125–128. Available at: http://repositsc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/1944/1/%d0%a1%d0%98%d0%90.pdf

17. Soloviev, I. (2021). Mathematical model of underwater demining by divers of the SESU. Municipal Economy of Cities, 6(166), 175–183. doi: 10.33042/2522-1809-2021-6-166-175-183

18. Soloviov, I., Strelets, V.&Lovin, D. (2021). Multifactor model of excavation of an explosive subject diver. Problems of Emergency Situations, 2(34), 272–394. doi: 10.52363/2524-0226-2021-34-20

19. Soloviov, I., Strelets, V., Blyashenko, O., Servatyuk, V. &Pruskyi, A. (2022). Methodology for substantiating operational and technical recommendations on reducing the time of underwater demining by divers-sappers of the State emergency service of Ukraine. Scientific bulletin: Civil protection and fire safety, 2(14), 108–121. doi: 10.33269/nvcz.2022.2(14).108-121

20. Voznesenskij, V. (1981). Statisticheskie metody planirovaniya eksperimenta v tehniko-ekonomicheskih issledovaniyah [Statistical methods of experiment planning in feasibility studies]. – Finansy i statistika [in Russian]

21. Mitropolskij, A. (1971). Tehnika statisticheskih vychislenij [Statistical Computing Technique] – Glavnaya redakciya fiziko-matematicheskoj literaturyizdatelstva «Nauka» [in Russian]

Надійшла до редколегії: 07.03.2023
Прийнята до друку: 17.04.2023