

# БАГАТОФАКТОРНИЙ АНАЛІЗ ПІДВОДНОГО ГУМАНІТАРНОГО РОЗМІНУВАННЯ

Головне управління ДСНС України у Херсонській області

## Анотація

Отримано 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. Статистичні показники часу підйому вибухонебезпечного предмету у відповідності до обраного плану були отримані із використанням методу безпосередніх експертних оцінок. Порівняльний аналіз існуючої та розробленої у відповідності до випадку застосування спеціалізованого пристрою моделей підтвердив, що використання спеціалізованого технічного приладу для підйому вибухонебезпечного предмету водолазами-саперами суттєво (з рівнем значимості  $\alpha=0,05$ ) впливає на час підводного гуманітарного розмінування. Крім цього, при рівні значимості двостороннього ризику  $\alpha=0,01$  як під час використання загальноприйнятого способу, так і у випадку використання водолазами-саперами можна говорити, що на час підйому вибухонебезпечного предмету особовим складом ДСНС України впливають тільки рівень підготовленості та умови проведення підводного розмінування.

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

## Abstract

The model of the lifting of an explosive object with divers-sappers in the form of a three-factor quadratic polynomial, the coefficients of which establish a quantitative relationship between the level of preparedness of the personnel, the external conditions in which it operates, and the equipment of rescuers. Statistical indicators of the time of lifting the explosive subject in accordance with the chosen plan were obtained using the method of direct expert assessments. Comparative analysis of existing and developed in accordance with the case of the use of a specialized device of models confirmed that the use of a specialized technical device for lifting an explosive object with divers-sappers significantly (with the level of significance  $\alpha = 0,05$ ) affects the time of submarine humanitarian demining. In addition, at the level of importance of bilateral risk  $\alpha = 0.01$ , both when using the conventional method, and in the case of use of divers-sappers, we can say that at the time of lifting of the explosive object the personnel of the SES of Ukraine is affected only.

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

## 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.

Метою роботи є побудова багатофакторної моделі підйому вибухонебезпечного предмету водолазами-саперами ДСНС України з подальшим аналізом цього процесу

## Результати дослідження

У відповідності до [7] було отримано і підтверджено достовірність трифакторної квадратичної моделі в нормованих перемінних

$$y_{\text{підйом}} = 0,449 - 0,158 \cdot x_1 - 0,285 \cdot x_2 - 0,057 \cdot x_3 + 0,054 \cdot x_1^2 + 0,077 \cdot x_2^2 - 0,059 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,021 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,004 \cdot x_2 \cdot x_3, \quad (1)$$

де  $x_1$  – рівень підготовленості водолаза-сапера;  $x_2$  – рівень оснащення;  $x_3$  – умови, в яких працює особовий склад.

Аналіз (1) включав до себе перевірку гіпотези однорідності ряду дисперсій по  $\sigma$ -критерію Кохрена

$$Kh = \frac{\sigma_{\text{max}}^2}{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2} = \frac{0,024}{0,297} = 0,081, \quad (2)$$

де  $(\sigma_u^2)_{\text{max}}$  – 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

$$\sigma_{\bar{x}}^2 = \frac{1}{18} \cdot \sum_{i=1}^{18} \sigma_i^2 \approx 0,165. \quad (3)$$

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

$$\sigma_{\bar{x}}\{b_0\} = A_0 \cdot \sigma_{\bar{x}} = 0,5022 \cdot 0,165 = 0,204, \quad (4)$$

$$\sigma_{\bar{x}}\{b_i\} = A_i \cdot \sigma_{\bar{x}} = 0,3333 \cdot 0,165 = 0,136, \quad (5)$$

$$\sigma_{\bar{x}}\{b_{ij}\} = A_{ij} \cdot \sigma_{\bar{x}} = 0,2887 \cdot 0,165 = 0,117, \quad (6)$$

$$\sigma_{\bar{x}}\{b_{ii}\} = A_{ii} \cdot \sigma_{\bar{x}} = 0,4082 \cdot 0,165 = 0,166, \quad (7)$$

які застосовуються для обчислювання відповідних критичних значень

$$b_{\text{кр}} = t \cdot \sigma\{b\}, \quad (8)$$

де  $t$  береться по таблицям при обраному рівні значимості  $\alpha$  та числі ступенів свободи  $f=n-1=18$ . В табл.1 показані розраховані за (8) критичні значення коефіцієнтів для моделі (22).

**Таблиця 1.** Критичні значення коефіцієнтів моделі (1)

$\alpha$	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 (8) 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 (1). Видно (рис.1), 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 оперативнотехнічних 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 під час проведення пошукових досліджень, а дослідження систем «людина – техніка – середовище» відносяться саме до таких, 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.

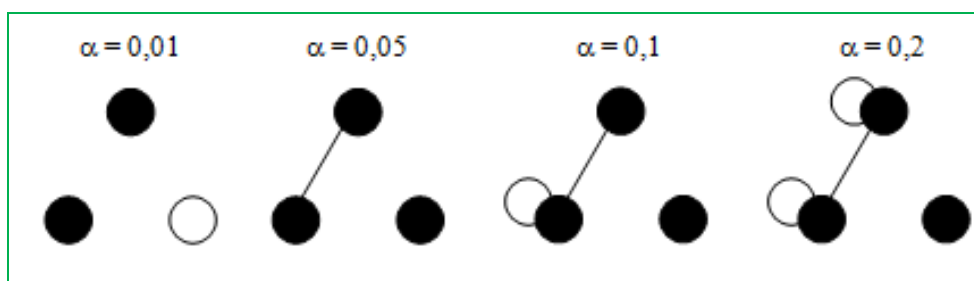


Рис.1. Аналіз графів зв'язку між трьома факторами  $x_i$  за різного рівня відхилення правильної гіпотези (чорним кольором зафарбовані значущі лінійні ефекти, петля – значущий квадратичний ефект, ребра графа – значущими є ефекти взаємодії)

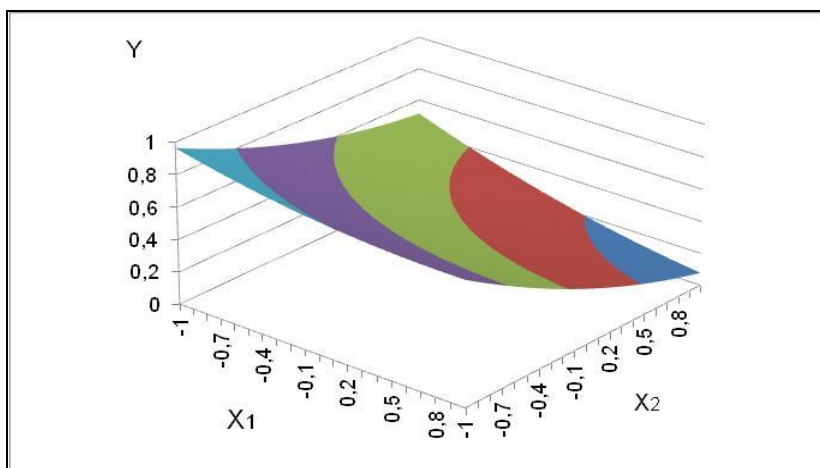


Рис.2. Залежність (в кодованих перемінних) часу підйому вибухонебезпечного предмету від рівня підготовленості водолазів-саперів та умов, в яких вони працюють

Також видно, що є велика необхідність у застосуванні новітніх технічних рішень, щоб зменшити вплив поганих умов підводного розмінування.

### Висновки

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 оперативних 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..

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

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: Vol. 23: Iss. 3, Article 11.  
Available at: <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. Available at: [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. Available at: <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: Volume 30*, pp. 19-27. Available at: [file:///C:/Users/User/Downloads/357\\_16\\_1\\_Matika\\_Baric.pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/357_16_1_Matika_Baric.pdf)
6. Solovjov I.I., Ctrilec` 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. 2020. S.225-231
7. Soloviov, I., Strelets, V., Lovin, D. (2021). Multifactor model of excavation of an explosive sub ject diver. *Problems of Emergency Situations*, 2 (34), 272-394. DOI: <https://doi.org/10.52363/2524-0226-2021-34-20>

**Соловійов Ігор Ігорович** – ад’юнкт 3 курсу заочної форми навчання Національного університету цивільного захисту України, начальник відділення – водолазний фахівець відділення підводного розмінування групи піротехнічних робіт та спеціальних водолазних робіт ГУ ДСНС України у Херсонській області, м. Херсон, e-mail: [cross199110@gmail.com](mailto:cross199110@gmail.com)

Науковий керівник: **Стрелець Віктор Маркович** — д-р техн. наук, професор, старший викладач кафедри автоматичних систем безпеки та інформаційних технологій, Національний університет цивільного захисту України, м. Харків, e-mail: [vstrelec1956@ukr.net](mailto:vstrelec1956@ukr.net)

**Soloviov Ihor** — adjunct, the head of the department is a diving specialist of the underwater demining department of Group of pyrotechnic works and special diving works of Emergency rescue squad for special purposes of Main Directorate of the State Emergency Service of Ukraine in Kherson region, email : [cross199110@gmail.com](mailto:cross199110@gmail.com)

Supervisor: **Streletec Victor** — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Senior lecturer of the Department of Automatic Security Systems and Information Technologies of National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, e-mail: [vstrelec1956@ukr.net](mailto:vstrelec1956@ukr.net)