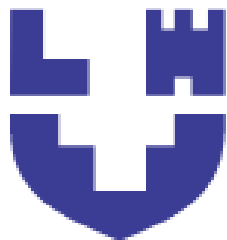


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ



АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ ОХОРОНИ ПРАЦІ, ЦИВІЛЬНОЇ ТА ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ

Науково-технічний журнал

Виходить 2 рази на рік

Заснований у грудні 2024 року

№1(1)' 2025

Луцьк - 2025

В журналі публікуються наукові статті за результатами досліджень і розробок в галузі технічних наук. Журнал розрахований на наукових співробітників, інженерно-технічних працівників підприємств, проектних організацій, навчальних та науково-дослідних інститутів, докторантів та аспірантів.

Засновник та видавець – Луцький національний технічний університет

Головний редактор: В.І. Федорчук-Мороз, канд. техн. наук, доцент (Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна).

Заступник головного редактора: О.О. Вісин, канд. іст. наук, доцент (Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна).

Відповідальний секретар: М.В. Рудинець, канд. техн. наук, доцент (Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна).

Англомовний редактор: О.М. Ковальчук, канд. пед. наук, доцент (Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна).

Члени редакційної колегії: О.Є. Кружилко, д-р техн. наук, проф. (Технічний університет «Метінвест Політехніка», м. Запоріжжя, Україна); Б.В. Болібрух, д-р техн. наук, проф. (Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна); В.К. Костенко, д-р техн. наук, проф. (ДВНЗ Донецький національний технічний університет, м. Дрогобич, Україна); Т.В. Костенко, д-р техн. наук, проф. (Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України, м. Черкаси, Україна); О.М. Нуязнін, д-р техн. наук, проф. (Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України, м. Черкаси, Україна); Н.Б. Бурдейна, д-р техн. наук, доц. (Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна); С.В. Сахно, канд. техн. наук, доц. (Технічний університет «Метінвест Політехніка», м. Запоріжжя, Україна); Д.А. Чепіга, канд. техн. наук, доц. (ДВНЗ Донецький національний технічний університет, м. Дрогобич, Україна); В.Ю. Тарасов, д-р техн. наук, проф. (Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, м. Київ, Україна); В.Г. Шевченко, д-р техн. наук, ст. наук. співроб. (Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України, м. Дніпро, Україна); О.О. Ченчева, канд. техн. наук, доц. (Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, м. Кременчук, Україна); С.В. Подкопаєв, д-р техн. наук, проф. (Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна); В.І. Голінько, д-р техн. наук, проф. (Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна); О.В. Третьяков, д-р техн. наук, проф. (Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна); А.С. Беліков, д-р техн. наук, проф. (Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, м. Дніпро, Україна); С.І. Чеберячко, д-р техн. наук, проф. (Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна); В.Л. Филипчук, д-р техн. наук, проф. (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, Україна); В.М. Лобойченко, д-р техн. наук, проф. (Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна).

Журнал зареєстрований в **Національній раді України з питань телебачення і радіомовлення**, рішення № 3275, протокол №30 від 05.12.2024. Ідентифікатор медіа – R30-05695

Рекомендовано до друку Вченою радою Луцького національного технічного університету (протокол № 8 від 24.04.2025р.).

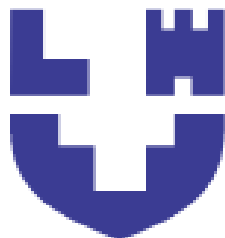
Актуальні питання охорони праці, цивільної та техногенної безпеки. Науково-технічний журнал. – Луцьк: Луцький національний технічний університет, 2025. №1(1). – 104 с.

Тексти статей представлено у авторській редакції. Автори несуть повну відповідальність за зміст публікації, а також добір, точність наведених фактів, цитат, власних імен та інших відомостей.

Електронна версія журналу зберігається у Національній бібліотеці України імені В.І. Вернадського, внесена до Національного репозиторію академічних текстів. Журнал індексується у загальнодержавній базі даних «Україніка наукова», а також у міжнародних наукометричних базах даних: Research Organization Registry, Index Copernicus (IC), Citefactor, International Society for Research Activity (ISRA) Journal Impact Factor (JIF), International Accreditation and Research Council (IARS), Root Society for Indexing and Impact Factor, Service (Rootindexing), General Impact Factor (GIF), Academic Resource Index (ReseachBib).



MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
LUTSK NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY



**CURRENT ISSUES OF
OCCUPATIONAL, CIVIL AND
TECHNOGENIC SAFETY**

Scientific and Technical Journal

Published twice a year

Founded in December 2024

№1(1)' 2025

Lutsk 2025

The journal publishes scientific articles based on the results of research and development in the field of technical sciences. The journal is intended for researchers, engineering and technical staff of enterprises, design organizations, educational and research institutes, doctoral and PhD students.

Founder and Publisher– Lutsk National Technical University

Editor-in-Chief: Valentyna Fedorchuk-Moroz, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor (Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine).

Deputy Editor-in-Chief: Olena Visyn, Candidate of Historical Sciences, Associate Professor (Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine).

Executive Secretary: Mykola Rudynets, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor (Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine).

Editing English Texts: Oksana Kovalchuk, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor (Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine).

Members of the Editorial Board: Oleh Kruzhylo, Doctor of Technical Sciences, Prof. (Technical University “Metinvest Polytechnic”, Zaporizhia, Ukraine); Borys Bolibrukh, Doctor of Technical Sciences, Prof. (Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine); Viktor Kostenko, Doctor of Technical Sciences, Prof. (Donetsk National Technical University, Drohobych, Ukraine); Tetiana Kostenko, Doctor of Technical Sciences, Prof. (Cherkasy Institute of Fire Safety Institute named after the Heroes of Chernobyl, National University of Civil Defense of Ukraine, Cherkasy, Ukraine); Oleksandr Nuyanzin, Doctor of Technical Sciences, Prof. (Cherkasy Institute of Fire Safety named after the Heroes of Chernobyl, National University of Civil Defense of Ukraine, Cherkasy, Ukraine); Nataliia Burdeyna, Doctor of Technical Sciences, Assoc. Prof. (Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine); Svitlana Sakhno, Candidate of Technical Sciences, Assoc. Prof. (Technical University “Metinvest Polytechnic”, Zaporizhia, Ukraine); Daria Chepiga, Candidate of Technical Sciences, Assoc. Prof. (Donetsk National Technical University, Drohobych, Ukraine); Vadym Tarasov, Doctor of Technical Sciences, Prof. (Volodymyr Dal East Ukrainian National University, Kyiv, Ukraine); Volodymyr Shevchenko, Doctor of Technical Sciences, Sen. Reseacher (M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Dnipro, Ukraine); Olha Chenchava, Candidate of Technical Sciences, Assoc. Prof. (Mykhailo Ostrohradskyi Kremenchuk National University, Kremenchuk, Ukraine); Serhii Podkopaiev, Doctor of Technical Sciences, Prof. (Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine); Vasyl Golinko, Doctor of Technical Sciences, Prof. (National Technical University "Dnipro Polytechnic", Dnipro, Ukraine); Oleh Tretyakov, Doctor of Technical Sciences, Prof. (National Aviation University); Anatolii Belikov, Doctor of Technical Sciences, Prof. (Pridneprovskaya State Academy of Civil Engineering and Architecture, Dnipro, Ukraine); Sergiy Cheberyachko, Doctor of Technical Sciences, Prof. (National Technical University "Dnipro Polytechnic", Dnipro, Ukraine); Viktor Fylypchuk, Doctor of Technical Sciences, Prof. (National University of Water Management and Environmental Management, Rivne, Ukraine); Valentyna Loboychenko, Doctor of Technical Sciences, Prof. (Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine).

The journal is registered with the National Council of Ukraine for Television and Radio Broadcasting, decision No. 3275, protocol No. 30 dated December 5, 2024. Media identifier – R30-05695

Recommended for publication by the Academic Council of Lutsk National Technical University (protocol No. 8 dated April 24, 2025).

Current Issues of Occupational Safety, Civil and Technogenic Security. Scientific and Technical Journal. – Lutsk: Lutsk National Technical University, 2025. №1(1). – 104 p.

The texts of the articles are presented in the author's original version. The authors bear full responsibility for the content of the publication, as well as the selection and accuracy of the facts, quotes, proper names, and other information.

The electronic version of the journal is stored in the National Library of Ukraine named after V.I. Vernadsky, entered into the National Repository of Academic Texts. The journal is indexed in the national database "Ukrainika Naukova", as well as in international scientometric databases: Research Organization Registry, Index Copernicus (IC), Citefactor, International Society for Research Activity (ISRA) Journal Impact Factor (JIF), International Accreditation and Research Council (IARS), Root Society for Indexing and Impact Factor, Service (Rootindexing), General Impact Factor (GIF), Academic Resource Index (ResearchBib).



ЗМІСТ

Борта О.М., Борта А.М., Тарасов В.Ю.

Оцінка системи порятунку та самопорятунку підземних робітників..... 6

Бурдейна Н.Б., Глива В.А., Бірук Я.І., Петруньок Т.Б., Азнаурян І.О.

Засади застосування надтонких покриттів для екранування електромагнітних випромінювань техногенного походження..... 11

Голінько В.І., Кузнецов О.К., Забеліна В.А.

Дослідження термokatалітичних датчиків горючих газів при заливанні їх газодифузійних фільтрів водою..... 17

Костенко В.К., Таврель М.І.

Дослідження впливу змивів з полів на виникнення процесу евтрофікації водозаборів..... 24

Костенко Т.В.

Особливості травматизму особового складу рятувальних підрозділів ДСНС України в умовах воєнного стану..... 35

Лобойченко В.М., Федорчук-Мороз В.І., Шевченко О.С.

Загальний бібліометричний аналіз наукових публікацій з питань цивільного захисту та охорони праці в Україні..... 45

Маловик І.В., Степанчук С.О., Стрілець В.В., Хижняк А.А.

Розробка методики підвищення ефективності проведення аварійно-рятувальних робіт в умовах можливого бойового ураження..... 59

Нуянзін О.М.

Дослідження швидкості руху маломобільних груп населення у захисних спорудах цивільного захисту..... 83

Ченчева О.О., Лашко Є.Є., Роговенко О.О., Горбенко О.М.

Дослідження ефективності навчання цивільного населення навичкам надання домедичної допомоги..... 93

О.М. Борта
А.М. Борта
В.Ю. Тарасов

ОЦІНКА СИСТЕМИ ПОРЯТУНКУ ТА САМОПОРЯТУНКУ ПІДЗЕМНИХ РОБІТНИКІВ

Мета. Включає аналіз протяжності виробок і оцінку часу, необхідного для безпечної евакуації гірників, а також схему провітрювання виїмкової ділянки. Проведення розрахунку захисного терміну дії саморятувальників, який визначає, чи достатньо часу для виходу із зони потенційної небезпеки.

Методологія. Полягає в аналізі протяжності виробок і оцінку часу, необхідного для безпечної евакуації гірників, а також схему провітрювання виїмкової ділянки. Також проводиться розрахунок захисного терміну дії саморятувальників, який визначає, чи достатньо часу для виходу із зони потенційної небезпеки.

Результати. На сьогоднішній день безпека працівників у гірничій галузі є одним із першочергових завдань, які потребують уваги на всіх рівнях. Одним із ключових факторів, що впливають на безпеку гірників, є можливість їх евакуації у разі надзвичайної ситуації.

Новизна. В результаті, є високий ризик, що працівники не зможуть залишити аварійну ділянку а також відсутність стратегії та процедур для забезпечення їх безпеки у таких ситуаціях. Ця проблема вимагає особливої уваги з боку проектувальників та гірничих фахівців, щоб забезпечити мінімізацію ризиків та гарантувати безпеку людей, які працюють у цих умовах. Такий підхід дозволяє чітко і зрозуміло донести серйозність проблеми та необхідність більш глибокого аналізу та врахування всіх ризиків у проектуванні

Практична значимість. При проектуванні видобувних ділянок гірничі підприємства повинні враховувати можливість проведення рятувальних операцій в частинні самопорятунку і рятунку гірників у разі аварійних ситуацій. Це пов'язано з тим, що в умовах складної гірничо-геологічної обстановки рятувальники можуть виявитися не в змозі своєчасно прибути на місце події.

Ключові слова: видобувна промисловість, потенційно небезпечні ділянки, аварійно-рятувальні роботи, система саморятування, аварія.

Вступ.

Історично важливою часткою економіки України була видобувна промисловість, яка займала провідні позиції як у структурі валового внутрішнього продукту (ВВП), так і в структурі експорту. Прямий внесок видобувної галузі у ВВП України у 2022 р. складав 295,55 млрд грн, або 5,69% від загального ВВП України. Частка видобувних галузей у загальній вартості експорту товарів та послуг склала 7,68% (5,63% у 2021 р.). Зокрема, найбільшою залишається частка неагломерованих руд заліза, що становить 6,59% від загальної вартості експорту товарів та послуг в Україні у 2022 р. Обсяг капітальних інвестицій у 2022 р. склав 25 396,42 млн грн, що становить 6,20% сукупного обсягу капітальних інвестицій, здійснених в усій економіці України за звітний період. Найбільшу частку капітальних інвестицій мають галузі видобування руд заліза (2,43% від обсягу капітальних інвестицій всіх галузей України), а також видобування кам'яного

вугілля (2,43%) [1]. Тому на сучасному гірничому виробництві, як основи розвитку національної економіки, забезпечення безпеки праці є одним із пріоритетних завдань.

Один з етапів, що потребує системного підходу та ретельного опрацювання, це виконання аварійно-рятувальних робіт (АСР) на "аварійній" ділянці. В першу чергу, вибір характерних та потенційно небезпечних місць, а також умови евакуації персоналу з потенційно небезпечної ділянки. Ефективність цих заходів безпосередньо залежить від факторів, які можуть визначати як місце виникнення аварії, так і місцезнаходження потерпілого.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

В Україні система протиаварійного і протипожежного захисту визначається ст. 19 та ст. 25 Гірничого закону України, Галузевими правилами безпеки [2, 3]. При організації аварійної евакуації працівників необхідно керуватися вимогою пункту 11

глави 1 розділу III «Правил безпеки під час розробки родовищ рудних та нерудних корисних копалин підземним способом», затверджених наказом Міністерства соціальної політики України від 23.12.2016 року № 1592 та зареєстрованих в Міністерстві юстиції України 30 січня 2017 року за № 129/29997 в частині передбачення засобів колективного захисту органів дихання: переносних КАПП у всіх виробках, час виходу працівників з яких у загазованому середовищі більше часу захисної дії саморятівника, який має при собі працівник, згідно з ПЛА. На шахтах з віддаленими місцями робіт, тривалість виходу з яких під час аварій у безпечне місце більше часу захисної дії саморятівника, влаштовуються пункти переключення (не більше одного на шляху пересування), встановлюються групові пересувні чи стаціонарні засоби самопорятунку, розташування яких узгоджується з ДАРС (ДВГРС) у відповідності до вимог пункту 11 глави 3 розділу IV «Правил безпеки у вугільних шахтах», затверджених наказом Державного комітету України з промислової

безпеки, охорони праці та гірничого нагляду від 22 березня 2010 року № 62, зареєстрованих у Міністерстві юстиції України 17 червня 2010 року за № 398/17693[4].

Методологія дослідження включає аналіз протяжності виробок і оцінку часу [5], необхідного для безпечної евакуації гірників, а також схему провітрювання виїмкової ділянки. Також проводиться розрахунок захисного терміну дії саморятівників [6], який визначає, чи достатньо часу для виходу із зони потенційної небезпеки.

Виклад основного матеріалу.

На сьогоднішній день безпека працівників у гірничій галузі є одним із першочергових завдань, які потребують уваги на всіх рівнях. Одним із ключових факторів, що впливають на безпеку гірників, є можливість їх евакуації у разі надзвичайної ситуації.

Проведено аналіз гірничо-видобувного підприємства (рис. 1), щодо можливості виходу гірників з виїмкової ділянки.

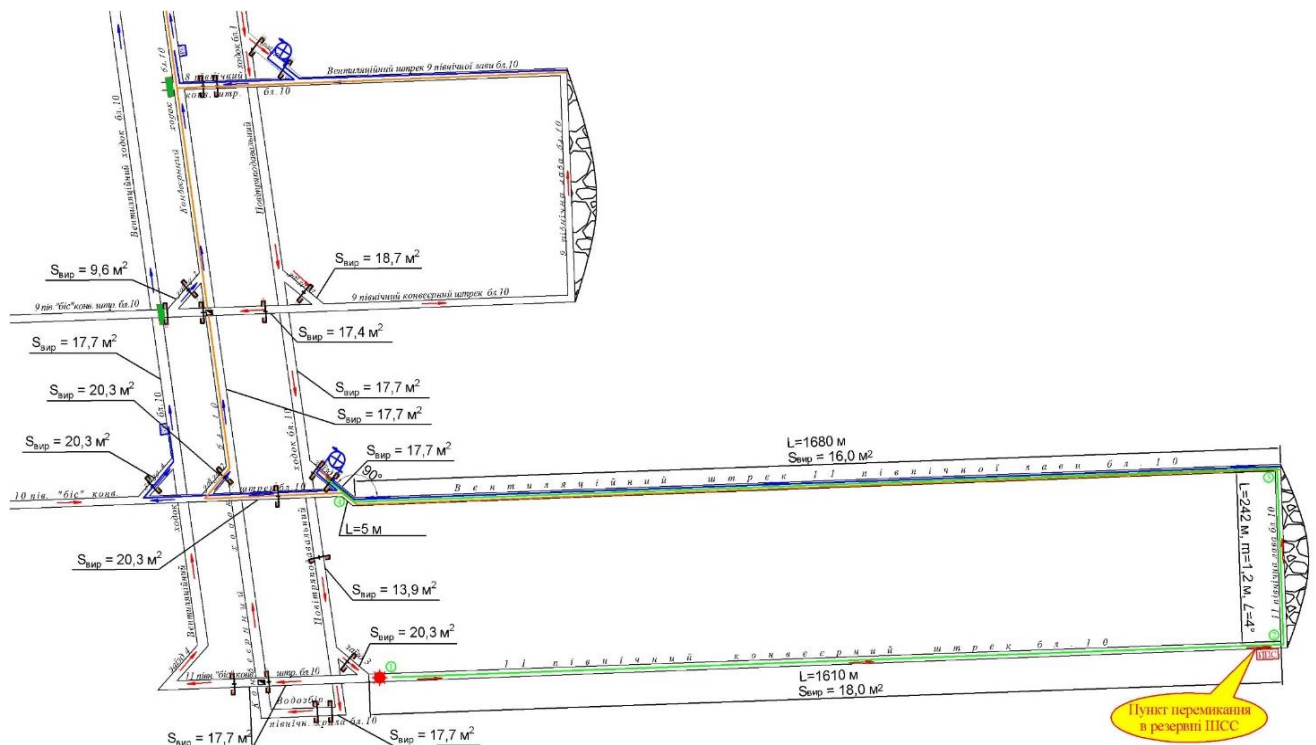


Рис. 1. Схема виходу гірників із загазованих виробок «аварійної ділянки» на початок відпрацювання (при застосуванні саморятівників з часом дії 50 хв.)

Маршрут виходу, за умови що зона ураження при виникненні та розвитку пожежі знаходиться в 11 північному конвеєрному штреку блоку 10 в 5-10 м від сполучення з заїздом 3 на повітряподавальний ходок блоку 10 по ходу вентиляційного струменя у бік лави: працівники, які перебувають за осередком пожежі у 11 північному штреку блоку 10 (від заїзду на повітряподавальний ходок блоку 10 до 11 північної лави блоку 10), 11 північна лава блоку 10, вентиляційному штреку 11 північної лави блоку 10 (від 11

північної лави блоку 10 до заїзду на повітряподавальний ходок блоку 10 (камера ВМЦГ-7)), включившись у саморятівники, виходять по 11 північному конвеєрному штреку блоку 10, 11 північній лаві блоку 10, вентиляційному штреку 11 північної лави блоку 10 у камеру ВМЦГ 11 північної лави блоку 10, на свіжий струмінь повітря і далі по свіжому струменю на поверхню. Наявність значною протяжністю гірничих виробок до 4 км та схема провітрювання яка суперечить чинним нормативно-правовим актам охорони праці України [7] (табл. 1).

Таблиця 1.

Характеристика виїмкової ділянки та параметри виконання аварійно-рятувальних робіт

Найменування виробки	Довжина виробки, м	Тип виробки	Напрямок руху	Кут нахилу виробки, град	Швидкість пересування, м/хв	Час проходження ділянки, хв	Загальний час проходження ділянки, хв	% часу захисної дії саморятівника
11 північн. конв. штр. бл.10	1610	виробка (h-1,8÷2,0 м)	Горизонтально	0	45,0	35,8	35,8	71,6
11 північна лава бл. 10	242	лава (m-0,7 - 1,2 м)	Підйом	0	21,0	11,5	47,3	94,6
Вент. штр. 11 північн. лави бл.10	1680	виробка (h-1,8÷2,0 м)	Горизонтально	0	45,0	37,4	84,7	169,4
Всього по маршруту:	3532						84,7	169,4

Захисна дія саморятівника які використовуються на підприємстві недостатньо для виходу гірників із зони загазування (табл. 1). Перевищення часу становить 34,7 хв, а з урахуванням перемикання в резервні саморятівники (5 хв) 39,7 хв. Отже, необхідно вжити заходів щодо забезпечення подальшого руху гірників.

Обговорення результатів.

Отримані дані свідчать, що актуальна довжина гірничих виробок значно перевищує захисний термін дії наявних засобів індивідуального захисту, що унеможливує безпечний вихід працівників на поверхню.

Таким чином розкривається проблема, визначаються цілі та завдання до-слідження, що створює основу для подальших розрахунків та висновків, такі як:

- встановлення пунктів перемикання у резервні саморятівники;

- скорочення маршруту руху гірників у загазованій атмосфері;

- використання як стаціонарних, так і пересувних камер порятунку;

- оперативне регулювання напрямом вентиляційних струменів повітря;

- завчасна зміна схеми провітрювання виїмкової ділянки.

Висновки. Проведений аналіз небезпечних факторів, що впливають на виконання аварійно-рятувальних робіт на «аварійній» ділянці, показав важливість ретельного підходу до вибору потенційно небезпечних місць. Встановлення таких місць відіграє ключову роль у розробці ефективних стратегій реагування та мінімізації ризиків для гірників.

Результати профілактичних обстежень та збирання даних про стан потенційно небезпечних ділянок є основою для побудови системи самопорятунку

гірників. Поглиблений аналіз можливих сценаріїв виникнення аварій та знаходження людей на цих ділянках дозволяє виробити комплекс заходів, спрямованих на їхню безпеку на стадії проектування.

Крім того, дослідження можливостей проведення розвідки «аварійної» ділянки та евакуації постраждалих залежно від умов, у яких сталася аварія, наголошує на необхідності розробки Планів ліквідації аварій та навчання співробітників. Важливо враховувати не лише наявність засобів

порятунку та евакуації, але й умови, в яких вони можуть бути застосовані, щоб забезпечити ефективне та безпечне реагування в екстрених ситуаціях.

Таким чином, комплексний аналіз усіх цих аспектів створює основу для підвищення рівня безпеки на потенційно небезпечних ділянках, знижуючи ризик виникнення надзвичайних ситуацій та покращуючи готовність до їх усунення.

Список літератури

1. Ініціатива щодо забезпечення прозорості у видобувних галузях. Звіт ПІВГ України за 2022 р URL: https://api.eiti.org/sites/default/files/2024-05/ua-eiti-report_2022_redacted_0.pdf (дата звернення: 27.02.2025)
2. Збірник нормативно-правових актів з аварійно-рятувальної справи. – К: ДВГРС (Державна воєнізована гірничорятувальна (аварійно-рятувальна) служба), 2001. – 145 с.
3. Правила безпеки під час розробки родовищ рудних та нерудних корисних копалин підземним способом (затверджено наказом Міністерства соціальної політики України від 23.12.2016 № 1592, зареєстровано у Міністерстві юстиції Мінюст України 30 січня 2017 року за № 129/29997).
4. ДНАОП 1.1.30-4.01.97. Статут ДВГРС по організації і веденню гірничорятувальних робіт. - Київ, 1997. – 453 с.
5. Правила безпеки у вугільних шахтах (затверджено наказом Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду від 22 березня 2010 року № 62, зареєстровано у Міністерстві юстиції України 17 червня 2010 року за № 398/17693).
6. СОУ 10.1.00174102-002:2004 Система саморятування гірників. Загальні вимоги. Затверджено та надано чинності наказом Міністерства палива та енергетики України від 30.12.2004 № 844.
7. Керівництво з проектування вентиляції вугільних шахт (затверджено наказом Державного комітету України з нагляду охорони праці від 20 грудня 1993 року № 131). – 99 с.

References

1. Extractive Industries Transparency Initiative. (2022). Ukraine EITI Report for 2022. Retrieved from [https://api.eiti.org/sites/default/files/2024-05/ua-](https://api.eiti.org/sites/default/files/2024-05/ua-eiti-report_2022_redacted_0.pdf)

eiti-report_2022_redacted_0.pdf (Accessed: February 27, 2025).

2. DVGRES (Derzhavna Voienizovana Hirnychoriatuvalna (Avariino-Riatuvalna) Sluzhba). (2001). Zbirnyk normatyvno-pravovykh aktiv z avariino-riatuvalnoi spravy [Collection of Regulatory and Legal Acts on Emergency and Rescue Affairs]. Kyiv: DVGRES. 145 p. (In Ukrainian).
3. Ministry of Social Policy of Ukraine. (2016). Pravyla bezpeky pid chas rozrobky rodovyshch rudnykh ta nerudnykh korysnykh kopalyn pidzemnym sposobom [Safety Rules for the Development of Ore and Non-Ore Mineral Deposits by Underground Method]. Approved by Order No. 1592 on December 23, 2016. Registered in the Ministry of Justice of Ukraine on January 30, 2017, under No. 129/29997. (In Ukrainian).
4. DNAOP 1.1.30-4.01.97. (1997). Statut DVGRES po orhanizatsii i vedenniu hirnychoriatuvalnykh robot [Charter of DVGRES on the Organization and Conduct of Mine Rescue Operations]. Kyiv. 453 p. (In Ukrainian).
5. State Committee of Ukraine on Industrial Safety, Labor Protection, and Mining Supervision. (2010). Pravyla bezpeky u vuhilnykh shakhtakh [Safety Rules in Coal Mines]. Approved by Order No. 62 on March 22, 2010. Registered in the Ministry of Justice of Ukraine on June 17, 2010, under No. 398/17693. (In Ukrainian).
6. Ministry of Fuel and Energy of Ukraine. (2004). SOU 10.1.00174102-002:2004 Systema samoriatuvannia hirnykiv. Zahalni vymohy [Miner's Self-Rescue System. General Requirements]. Approved by Order No. 844 on December 30, 2004. (In Ukrainian).
7. State Committee of Ukraine on Labor Protection Supervision. (1993). Kerivnytstvo z proiektuvanniaventyliatsii vuhilnykh shakht [Guidelines for the Design of Coal Mine Ventilation]. Approved by Order No. 131 on December 20, 1993. 99 p. (In Ukrainian).

Борта Андрій Миколайович – аспірант, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля (вул. Іоанна Павла II, 17, м. Київ, 01042, Україна).

ID ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-2657-7379>

E-mail: asp-263-23-101@snu.edu.ua

Борта Олександр Миколайович – аспірант, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля (вул. Іоанна Павла II, 17, м. Київ, 01042, Україна).

ID ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-5139-8530>

E-mail: asp-263-23-102@snu.edu.ua

Тарасов Вадим Юрійович – д-р техн. наук, професор, декан факультету здоров'я людини, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля (вул. Іоанна Павла II, 17, м. Київ, 01042, Україна).

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3614-0913>

E-mail: tarasov@snu.edu.ua

ASSESSMENT OF THE RESCUE AND SELF-RESCUE SYSTEM FOR UNDERGROUND WORKERS

Purpose. The study includes an analysis of the length of mine workings and an assessment of the time required for the safe evacuation of miners, as well as the ventilation scheme of the mining section. Additionally, the calculation of the protective operational duration of self-rescuers is conducted to determine whether there is sufficient time to exit the potential hazard zone.

Methodology. The methodology involves analyzing the length of mine workings, assessing the time required for the safe evacuation of miners, and evaluating the ventilation scheme of the mining section. A calculation of the protective operational duration of self-rescuers is also performed to determine whether the available time is sufficient for escaping the potential hazard zone.

Results. Ensuring worker safety in the mining industry is currently one of the top priorities that requires attention at all levels. One of the key factors affecting miner safety is their ability to evacuate in the event of an emergency.

Novelty. There is a high risk that workers may be unable to leave the hazardous area due to the absence of strategies and procedures to ensure their safety in such situations. This issue demands special attention from designers and mining professionals to minimize risks and guarantee the safety of individuals working in these conditions. This approach clearly conveys the seriousness of the problem and the need for a more in-depth analysis that considers all potential risks in mine design.

Practical significance. When designing mining sections, mining enterprises must take into account the possibility of conducting rescue operations, including self-rescue and miner evacuation in emergency situations. This is crucial because, in complex mining and geological conditions, rescue teams may be unable to reach the accident site in a timely manner.

Keywords: mining industry, potentially hazardous areas, emergency rescue operations, self-rescue system, accident.

Andrii Borta – post-graduate student, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, (17 John Paul II Street, Kyiv, 01042, Ukraine). ID ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-2657-7379>

E-mail: asp-263-23-101@snu.edu.ua

Oleksandr Borta – post-graduate student, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, (17 John Paul II Street, Kyiv, 01042, Ukraine). ID ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-5139-8530>

E-mail: asp-263-23-102@snu.edu.ua

Vadym Tarasov – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head in faculty of Human Health, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, (17 John Paul II Street, Kyiv, 01042, Ukraine).

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3614-0913> E-mail: tarasov@snu.edu.ua

Н.Б. Бурдейна
В.А. Глива
Я.І. Бірук
Т.Б. Петруньок
І.О. Азнаурян

ЗАСАДИ ЗАСТОСУВАННЯ НАДТОНКИХ ПОКРИТТІВ ДЛЯ ЕКРАНУВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ ТЕХНОГЕННОГО ПОХОДЖЕННЯ

Мета. Розробити засади застосування надтонких металізованих покриттів для екранування електромагнітних випромінювань техногенного походження.

Методика. Теоретичне обґрунтування отримання надтонких металевих покриттів для оптимального екранування електромагнітних полів ультрависоких і вищих частот. Емпіричне підтвердження того, що напилення тонкого металевого шару на скло забезпечує захист від впливу електромагнітних випромінювань і не знижує суттєво проникнення денного світла.

Результати. Встановлено, що коефіцієнт відбиття для покриттів товщиною до 10 нм може забезпечити коефіцієнти відбиття електромагнітних хвиль до 25 дБ. Надано розрахункові співвідношення для визначення провідності металеві плівки, яка суттєво відрізняється від об'ємної електропровідності і визначає значення коефіцієнта екранування. Надані залежності коефіцієнтів відбиття напилення у поширених металах від товщини плівки. Встановлено ефект досягнення максимуму коефіцієнта відбиття за певної товщини плівки. Розрахунково показано, що відбувається за товщини плівки, яка дорівнює товщині скін-шару для даної частоти випромінювання. Це надає можливість оптимізувати товщину металевих напилення як з точки зору електромагнітної безпеки, так і виходячи з потреб освітлення.

Новизна. На основі розрахунків встановлено, що стабільне значення коефіцієнта відбиття електромагнітних хвиль досягається на визначеній частоті електромагнітного поля за умови, коли товщина плівки досягає товщини скін-шару у металі.

Практична значимість. Встановлено, що у діапазонах ультрависоких і надвисокої частот коефіцієнт відбиття електромагнітних хвиль для фіксованої товщини плівки практично не залежить від частоти випромінювання. Для підвищення ефективності екранування скла з металевим напиленням металізований шар бажано заземлити.

Ключові слова: електромагнітне випромінювання, екранування, напилення, коефіцієнт відбиття

Вступ.

Найбільш ефективним засобом захисту від електромагнітних полів і випромінювань є екранування. На сьогодні це є окрема частина галузі електромагнітної безпеки. Різноманітність екрануючих матеріалів та методик їх застосування обумовлена різними фізичними механізмами екранування низькочастотних електромагнітних полів та високочастотних випромінювань. При цьому у багатьох випадках відрізняються задачі екранування, наприклад, необхідність максимального поглинання електромагнітної енергії з мінімізацією відбиття електромагнітних хвиль. Існують задачі, коли достатньо високого коефіцієнта відбиття. Розроблено і впроваджено велику кількість композиційних екрануючих матеріалів. При цьому більшість з них має досить велику товщину, від 1 мм. Такі композиції

здебільшого є продуктом нанотехнологій, що призводить до їх вкрай високої вартості. Тому доцільно розглянути можливості отримання тонких захисних покриттів за простими технологіями виготовлення, що мають прийнятну вартість виробництва.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Застосування екрануючих матеріалів і конструкцій регламентовано міжнародними та національними нормативними актами, зокрема директивою [1]. Більшість уваги приділяється розробленню та дослідженню захисних властивостей композиційних матеріалів [2, 3]. Перевагою композитів є можливість керування їх захисними властивостями за рахунок складу, товщини тощо. Для забезпечення захисту у широкому діапазоні частот такі матеріали повинні мати магнітні та провідні компоненти і товщину, більшу за еквівалентну глибину

проникнення електромагнітного поля. Тонкі покриття з прийнятною частотною смугою ефективності мають завелику вартість через наявність наноструктур і кількох компонентів [4, 5]. Навіть однокомпонентний наноматеріал на основі магнітних рідин має високу вартість і недостатню ефективність [6]. Перевагою композитів є можливість мінімізації відбиття електромагнітних хвиль, що надає змогу уникнути підвищення електромагнітного фону внаслідок перевідбиття [7], що можна добре передбачити розрахунковими методами [8]. Сучасний стан розвитку мобільного зв'язку характеризується підвищенням робочих частот і переходом на стандарт 5G. Внаслідок цього підвищуються гранично допустимі рівні електромагнітних випромінювань. Це обумовлено високими згасаннями у просторі високочастотних випромінювань. Сучасні облицювальні матеріали надійно екранують будівлі цивільного призначення [9]. Але значна кількість випромінювань може потрапляти у будівлю крізь віконні прорізи. При цьому їх площа відносно загальної площі поверхні будівлі невелика. Тому високі відбиття поверхнями вікон електромагнітних випромінювань технологічного походження не впливають на зміни електромагнітної обстановки у навколишньому просторі. На сьогодні багато уваги приділяється проблематиці енергоефективності будівель. Частково це досягається напиленням на склопакети покриттів для блокування інфрачервоних випромінювань. Тому доцільно дослідити можливості зниження рівнів електромагнітних випромінювань радіочастот за рахунок металевих напилень.

Мета статті (постановка завдання).

Розроблення засад застосування надтонких металізованих покриттів для екранування електромагнітних випромінювань техногенного походження.

Методи дослідження.

Теоретичне обґрунтування отримання надтонких металевих покриттів для оптимального екранування електромагнітних полів ультрависоких і вищих частот. Емпіричне підтвердження того, що напилення тонкого металевого шару на скло забезпечує захист від впливу

електромагнітних випромінювань і не знижує суттєво проникнення денного світла.

Виклад основного матеріалу.

Процес металізації діелектричних поверхонь, зокрема скла, добре розроблений. Для віконного скла завжди існує необхідність пошуку компромісного рішення – забезпечення оптичної прозорості та екранування електромагнітного випромінювання радіочастот або інфрачервоного спектру. Підвищення товщини металевієї плівки призводить до збільшення коефіцієнта екранування електромагнітного випромінювання, але знижує прозорість скла. Найбільш ефективними металами для напилення на поверхні скла є мідь, срібло, золото через високі значення питомої провідності. Слід враховувати, що на оптичні властивості скла крім напиленого металевого шару впливають власне поглинання скла та границя розділу скло-метал.

Захисні властивості металізованих скляних поверхонь обумовлені загальними закономірностями розсіювання електромагнітних хвиль:

$$T + A + R = 1,$$

де T – коефіцієнт проходження електромагнітного випромінювання, A – коефіцієнт поглинання, R – коефіцієнт відбиття.

Для надтонких металевих поверхонь подвійними відбиттями від границь розділів можна нехтувати. Тим більше, головний внесок у відбиття дає гладенька металева поверхня.

З електродинаміки суцільних середовищ відомо, що коефіцієнт відбиття функціонально залежить від електропровідності поверхні матеріалу. Поверхневий опір тонких плівок суттєво вищий за об'ємний опір таких матеріалів. Якщо товщина плівки порівняна з довжиною вільного пробігу електрона, головну роль у поверхневому опорі має розсіювання електронів у плівці.

Провідність тонкої плівки σ_s можна визначити з емпіричного співвідношення:

$$\sigma_s = \frac{3d\sigma_0 \left(\ln \frac{l_0}{d} + 0,4 \right)}{4l_0}.$$

де σ_0 – об’ємна електропровідність металу, d – товщина плівки, l_0 – довжина вільного пробігу електрона.

Для більшості металів об’ємні провідності та довжини вільного пробігу електронів відомі (табл. 1).

Таблиця 1.

Об’ємні провідності та довжини вільного пробігу електронів у металах, що використовуються для напилення

Матеріал	σ_0 , 1/мкОм·л	l_0 , нм
Алюміній	38	16
Залізо	41	57
Мідь	58	42
Олово	8	10
Срібло	62	57

Опір провідного зразка прямокутного перерізу площею S :

$$r = \frac{\rho l}{S},$$

де ρ – питомий опір матеріалу, $\rho = 1/\sigma_s$, l – довжина зразка, S – площа перерізу зразка.

Якщо прийняти ширину зразка такою, що дорівнює довжині, то значення поверхневого електричного опору не залежить від площі зразка:

$$r_s = \frac{\rho}{d} = \frac{1}{\sigma_s d},$$

За наявності металевого покриття високої провідності основний внесок у екранування електромагнітних випромінювань дає відбиття електромагнітних хвиль. При цьому втрати на відбиття електромагнітних випромінювань R визначаються коефіцієнтами проходження на границях «повітря-метал» та «метал-скло»:

$$R = 88 + 20 \lg \left(\sqrt{\frac{\sigma_s}{f}} \right),$$

де f – частота падаючого електромагнітного випромінювання.

Залежності коефіцієнтів відбиття електромагнітного випромінювання від товщин металевих плівок з міді, алюмінію та олова наведено на рис. 1.

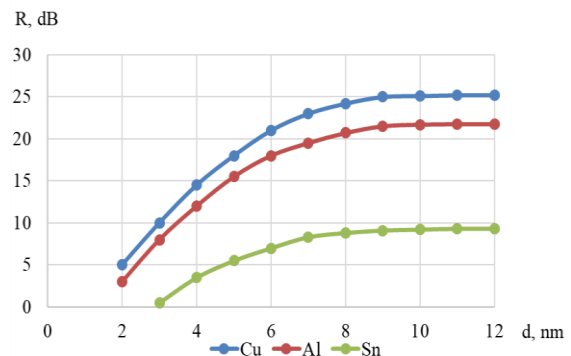


Рис. 1. Залежність коефіцієнта відбиття електромагнітного випромінювання від товщини металевих плівок

Аналіз даних рис. 1 свідчить, що олово найменш придатне для напилення з метою екранування електромагнітних випромінювань. Це пояснюється меншою електропровідністю олова. Можна помітити, що усі криві досягають максимумів за певних товщин плівки. Наприклад, для міді ця товщина 8–9 нм. Було розраховано еквівалентну глибину проникнення електромагнітного поля у матеріал, яка вважається товщиною скін-шару. Розрахунки здійснювалися для частоти 5 ГГц:

$$\delta = \sqrt{\frac{\rho}{\pi f \mu_0}},$$

де δ – еквівалентна глибина проникнення поля у матеріал, ρ – питомий електричний опір матеріалу, f – частота екранованого електромагнітного поля.

Для міді $\rho \approx 0,017$ мкОм, $f = 5 \cdot 10^9$ ГГц, $\mu_0 = 12,6 \cdot 10^{-6}$ Гн/м. За таких умов глибина скін-шару складає 8,6 нм.

Таким чином, коли товщина металевих плівок досягає товщини скін-шару коефіцієнт відбиття електромагнітних хвиль стабілізується й подальше зростання

товщини напilenня не є доцільним. Врахування цього факту дозволяє мінімізувати товщини напilenого металу й забезпечити максимальну оптичну прозорість скла.

Визначено, що коефіцієнт відбиття електромагнітного випромінювання від напilenих плівок практично не залежить від частоти у діапазонах ультрависоких і надзвичайно високих частот (рис. 2).

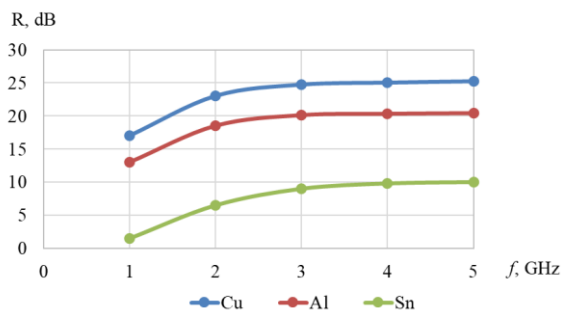


Рис. 2. Залежність коефіцієнта відбиття електромагнітного випромінювання від частоти падаючого випромінювання. Товщина плівки – 10 нм

Обговорення результатів.

Отже, в результаті дослідження встановлено, що у діапазонах ультрависоких і надвисокої частот коефіцієнт відбиття електромагнітних хвиль для фіксованої товщини плівки практично не залежить від частоти випромінювання.

Стабільність значення коефіцієнта відбиття електромагнітного випромінювання обумовлена тим, що разом із частотою електромагнітного випромінювання змінюється й глибина скін-шару, що впливає на поверхневу електропровідність матеріалу.

У реальній діяльності слід враховувати, що для підвищення загального коефіцієнта екранування металізованим шаром бажано металізований шар заземлити на природні заземлювачі. Таким заземлювачем може бути арматура стінових панелей.

Висновок.

Застосування металізованого скла дозволяє підвищити екранування електромагнітних випромінювань ультрависоких та вищих частот до 25 дБ. Це досягається за рахунок відбиття електромагнітних хвиль. Значення коефіцієнта відбиття функціонально залежить від електропровідності металевих плівок.

Показано, що електропровідність металевих шарів дещо відрізняється від об'ємної електропровідності цього матеріалу. Для коректного визначення коефіцієнта відбиття попередньо розраховується поверхнева електропровідність з урахуванням товщини плівки та дожини вільного пробігу електронів у цьому матеріалі.

Розрахунково встановлено, що стабільне значення коефіцієнта відбиття електромагнітних хвиль досягається на визначеній частоті електромагнітного поля за умови, коли товщина плівки досягає товщини скін-шару у металі.

Список літератури

1. Directive 2013/35/EU of the European Parliament and of the Council of 26 June 2013 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields) (20th individual Directive within the meaning of Article 16(1) of Directive 89/391/EEC) and repealing Directive 2004/40/EC. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2013/35/oj>
2. Kolcunová I., Zbojovský J., Pavlík M., Bucko S., Labun J., Hegedus M., Vavra M., Cimbala R., Kurimský J., Dolník B., Petráš J., Džmura J. Shielding Effectiveness of Electromagnetic Field by Specially Developed Shielding Coating. *Acta Physica Polonica*, A. May 2020, Vol. 137 Issue 5, p. 711-713. <http://doi.org/10.12693/APhysPolA.137.711>

3. Nansha Gao, Xinyu Guo, Jie Deng, Baozhu Cheng, Design and study of a hybrid composite structure that improves electromagnetic shielding and sound absorption simultaneously, *Composite Structures*, Volume 280, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2021.114924>
4. Butenko O., Boychuk V., Savchenko B., Kotsyubynsky V., Khomenko V., Barsukov V. Pure ultrafine magnetite from carbon steel wastes. *Materials Today: Proceedings*. 2019. V. 6, pp. 270–278. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.10.104>
5. Senyk I., Kuryptia Y., Barsukov V., Butenko O., Khomenko V. Development and application of thin wide-band screening composite materials. *Physics and Chemistry of Solid State*. 2020. 21(4). Pp. 771–778. <https://doi.org/10.15330/pcss.21.4.771-778>

6. Glyva V.A., Podoltsev A.D., Bolibrukh B.V., Radionov A.V. A Thin Electromagnetic Shield of a Composite Structure Made On the Basis of a Magnetic Fluid. *Tekhnichna elektrodynamika*. 2018. № 4. P.14–18. <https://doi.org/10.15407/techned2018.04.014>

7. Glyva V., Levchenko L., Burdeina N., Biruk Ya., Tykhenko O. Composite Gradient Coatings Design for Ensuring Electromagnetic Compatibility of on-board and Ground Electronic Equipment. International Symposium on Electric Aviation & Autonomous Systems (ISEAS 23). Warsaw University of Technology & Air Force Institute of Technology. 5th-7th July, 2023. Warsaw-Poland. P. 33

8. G. Krasnianskyi, V. Glyva, N. Burdeina, Y. Biruk, L. Levchenko, O. Tykhenko. Methodology For Designing Facing Building Materials with Electromagnetic Radiation Shielding Functions. *International Journal of Conservation Science*. Volume 15, Special Issue 1, 2024. Pp. 53-62. <https://doi.org/10.36868/IJCS.2024.si.05>

9. Glyva, V., Bakharev, V., Kasatkina, N., Levchenko, O., Levchenko, L., Burdeina, N., Guzii, S., Panova, O., Tykhenko, O., Biruk, Y. Design of liquid composite materials for shielding electromagnetic fields. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2021, 3(6-111) pp. 25–31. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.231479>

References

1. Directive 2013/35/EU of the European Parliament and of the Council of 26 June 2013 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields) (20th individual Directive within the meaning of Article 16(1) of Directive 89/391/EEC) and repealing Directive 2004/40/EC. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2013/35/oj>

2. Kolcunová, I., Zbojovský, J., Pavlík, M., Bucko, S., Labun, J., Hegedus, M., Vavra, M., Cimbala, R., Kurimský, J., Dolník, B., Petráš, J., & Džmura, J. (2020). Shielding Effectiveness of Electromagnetic Field by Specially Developed Shielding Coating. *Acta Physica Polonica A*, 137(5), 711–713. <https://doi.org/10.12693/aphyspola.137.711>

3. Gao, N., Guo, X., Deng, J., & Cheng, B. (2022). Design and study of a hybrid composite structure that improves electromagnetic shielding and sound absorption simultaneously. *Composite Structures*, 280, 114924. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2021.114924>

4. Butenko, O., Boychuk, V., Savchenko, B., Kotsyubynsky, V., Khomenko, V., & Barsukov, V. (2019). Pure ultrafine magnetite from carbon steel wastes. *Materials Today: Proceedings*, 6, 270–278. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.10.104>

5. S Senyk, I. V., Kuryptya, Y. A., Barsukov, V. Z., Butenko, O. O., & Khomenko, V. G. (2020). Development and Application of Thin Wide-Band Screening Composite Materials. *Physics and Chemistry of Solid State*, 21(4), 771–778. <https://doi.org/10.15330/pcss.21.4.771-778>

6. Glyva, V. A., Podoltsev, A. D., Bolibrukh, B. V., & Radionov, A. V. (2018). A THIN ELECTROMAGNETIC SHIELD OF A COMPOSITE STRUCTURE MADE ON THE BASIS OF A MAGNETIC FLUID. *Tekhnichna Elektrodynamika*, 2018(4), 14–18. <https://doi.org/10.15407/techned2018.04.014>

7. Glyva V., Levchenko L., Burdeina N., Biruk Ya., Tykhenko O. (2023). Composite Gradient Coatings Design for Ensuring Electromagnetic Compatibility of on-board and Ground Electronic Equipment. International Symposium on Electric Aviation & Autonomous Systems (ISEAS 23). Warsaw University of Technology & Air Force Institute of Technology. 5th-7th July, 2023. Warsaw-Poland. P. 33

8. G. Krasnianskyi, V. Glyva, N. Burdeina, Y. Biruk, L. Levchenko, O. Tykhenko. (2024). Methodology For Designing Facing Building Materials with Electromagnetic Radiation Shielding Functions. *International Journal of Conservation Science*. Volume 15, Special Issue 1, Pp. 53-62. <https://doi.org/10.36868/IJCS.2024.si.05>

9. Glyva, V., Bakharev, V., Kasatkina, N., Levchenko, O., Levchenko, L., Burdeina, N., Guzii, S., Panova, O., Tykhenko, O., & Biruk, Y. (2021). Design of liquid composite materials for shielding electromagnetic fields. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(6 (111)), 25–31. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.231479>

Бурдейна Наталія Борисівна - доктор технічних наук, доцент, професор кафедри фізики, Київський національний університет будівництва і архітектури, (пр. Повітряних сил, 31, м. Київ, Україна, 03037).

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2812-1387> E-mail: burdeina.nb@knuba.edu.ua.

Глива Валентин Анатолійович - доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри фізики, Київський національний університет будівництва і архітектури, (пр. Повітряних сил, 31, м. Київ, Україна, 03037).

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1257-3351> E-mail: hlyva.va@knuba.edu.ua

Бірук Яна Ігорівна - доктор філософії, доцент, доцент кафедри фізики, Київський національний університет будівництва і архітектури, (пр. Повітряних сил, 31, м. Київ, Україна, 03037).

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3669-9744> E-mail: biruk.iai@knuba.edu.ua

Петруньок Тетяна Броніславівна - кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри фізики, Київський національний університет будівництва і архітектури, (пр. Повітряних сил, 31, м. Київ, Україна, 03037). ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3261-3296>

E-mail: petrunok.tb@knuba.edu.ua

Азнаурян Ірина Олександрівна - доцент кафедри фізики, Київський національний університет будівництва і архітектури, (пр. Повітряних сил, 31, м. Київ, Україна, 03037).

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7085-7291> E-mail: aznaurian.io@knuba.edu.ua

PRINCIPLES OF APPLICATION OF ULTRATHIN COATINGS FOR SHIELDING ELECTROMAGNETIC RADIATION OF MAN-MADE ORIGIN

Purpose. To develop the principles of using ultrathin metallized coatings for shielding electromagnetic radiation of technogenic origin.

Methods. Theoretical justification of obtaining ultrathin metal coatings for optimal shielding of electromagnetic fields of ultrahigh and higher frequencies. Empirical confirmation that sputtering a thin metal layer on glass provides protection from the effects of electromagnetic radiation and does not significantly reduce the penetration of daylight.

Results. It was established that the reflection coefficient for coatings up to 10 nm thick can provide reflection coefficients of electromagnetic waves up to 25 dB. Calculation relations are provided for determining the conductivity of a metal film, which is significantly different from the bulk conductivity and determines the value of the shielding coefficient. The dependences of the reflection coefficients of sputtering in common metals on the film thickness are provided. The effect of achieving a maximum reflection coefficient at a certain film thickness is established. It is calculated to show what happens when the film thickness is equal to the skin layer thickness for a given radiation frequency. This makes it possible to optimize the thickness of the metal coating both from the point of view of electromagnetic safety and based on lighting needs.

Novelty. Based on calculations, it was established that a stable value of the reflection coefficient of electromagnetic waves is achieved at a certain frequency of the electromagnetic field, provided that the film thickness reaches the thickness of the skin layer in the metal.

Practical significance. It was established that in the ultrahigh and ultrahigh frequency ranges, the reflection coefficient of electromagnetic waves for a fixed film thickness practically does not depend on the radiation frequency. To increase the shielding efficiency of glass with metal coating, it is desirable to ground the metallized layer.

Keywords: electromagnetic radiation, shielding, coating, reflection coefficient

Natalia Burdeina, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Physics, Kyiv National University of Civil Engineering and Architecture, Air Force Ave., 31, Kyiv, Ukraine, 03037.

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2812-1387> E-mail: burdeina.nb@knuba.edu.ua

Valentyn Glyva, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Physics, Kyiv National University of Civil Engineering and Architecture, Air Force Ave., 31, Kyiv, Ukraine, 03037. ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1257-3351> E-mail: hlyva.va@knuba.edu.ua

Yana Biruk, Doctor of Philosophy, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Physics, Kyiv National University of Civil Engineering and Architecture, 31 Povitryanykh Sil Ave., Kyiv, Ukraine, 03037. ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3669-9744> E-mail: biruk.iai@knuba.edu.ua

Tetiana Petrunok, Candidate of Pedagogical Sciences Air Force, 31, Kyiv, Ukraine, 03037. ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3261-3296> E-mail: petrunok.tb@knuba.edu.ua

Iryna Aznaurian, Associate Professor, Department of Physics, Kyiv National University of Civil Engineering and Architecture, Air Force Ave., 31, Kyiv, Ukraine, 03037.

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7085-7291> E-mail: aznaurian.io@knuba.edu.ua

УДК 665.521.004.17

[https://doi.org/10.36910/3083-6255/1\(1\).2025.17-23](https://doi.org/10.36910/3083-6255/1(1).2025.17-23)

В.І. Голінько
О.К. Кузнецов
В.А. Забеліна

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМОКАТАЛІТИЧНИХ ДАТЧИКІВ ГОРЮЧИХ ГАЗІВ ПРИ ЗАЛИВАННІ ЇХ ГАЗОДИFUЗІЙНИХ ФІЛЬТРІВ ВОДОЮ

Мета. Дослідити вплив випадків випадкового заливання водою металокерамічних газодифузійних фільтрів термокаталітичних датчиків на роботу засобів контролю вибухонебезпечності.

Методика. В роботі застосовані експериментальні методи дослідження в лабораторних умовах серійних термокаталітичних датчиків пелістерного типу з неселективним платино-паладієвим каталізатором, оцінка та узагальнення результатів досліджень.

Результати. Виконані дослідження дозволили оцінити вплив випадків заливання водою термокаталітичних датчиків з металокерамічними фільтрелементами на роботу засобів контролю вибухонебезпечності. Виявлено, що навіть при багаторазовому заливанні фільтрів дистильованою водою характеристики термокаталітичних датчиків після висихання фільтрелементів не змінюються. При заливанні очищеною мінералізованою водою за багаторазового заливання фільтрів спостерігається зміщення нуля аналізаторів і лише в окремих випадках несуттєве зниження їх чутливості. Заливання неочищеною мінералізованою водою викликає зміщення нуля у всіх аналізаторів і зменшення їх чутливості.

Новизна. Встановлено, що багаторазове заливання металокерамічних газодифузійних фільтрів термокаталітичних датчиків неочищеною високомінералізованою водою призводить до зміщення нуля газоаналізаторів в бік позитивних значень і до зменшення їх чутливості, що обумовлюється з появою накопичення сольових відкладень на внутрішній поверхні фільтрів та підвищенням газодифузійного опору фільтра.

Практична цінність. Полягає у встановленні умов за яких необхідно проводити перевірку та налаштування засобів контролю вибухонебезпечності заснованих на термокаталітичному методі при їх експлуатації в умовах вугільних шахт та в системах раннього виявлення небезпек на об'єктах нафтогазового комплексу.

Ключові слова: безпека, горючі гази, паливо, системи моніторингу, датчики, вибухи.

Вступ.

Всякий техногенний об'єкт на якому використовуються вибухонебезпечні речовини представляє небезпеку для людини [1-2]. Загальна проблема забезпечення техногенної безпеки обумовлює необхідність аналізу існуючого рівня безпеки та, за необхідності, розробки заходів спрямованих на зниження цього рівня.

В системі заходів безпеки значна увага приділяється розробці та впровадженню систем моніторингу вибухонебезпечності об'єктів та розробка систем захисного захисту і оповіщення про небезпечні ситуації. У разі виявлення загрози системи захисту повинні автоматично відключати обладнання яке може бути джерелом запалення вибухонебезпечних сумішей або з метою запобігання аварій зупиняти технологічні процеси. Основою для розробки таких систем повинні стати сучасні інформаційні технології, які дозволяють суттєво підвищити точність та

надійність засобів контролю вибухонебезпечності [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Розповсюдженими об'єктами підвищеної небезпеки на яких можливе утворення вибухонебезпечних газоповітряних чи паливоповітряних сумішей є вугільні шахти небезпечні за газом метаном, а також такі об'єкти нафтопаливного комплексу як сховища паливних матеріалів та пункти заправки паливними матеріалами (АЗС). Причинами утворення вибухонебезпечних паливоповітряних сумішей на АЗС є витоки летких фракцій нафтопродуктів внаслідок переповнення резервуарів під час заливки нафтопродуктів з автоцистерн, переповнення паливних баків при заправці автомобілів, роз'єднання з'єднань у технологічних лініях і поломках в напірно-всмоктувальних трубопроводах резервуарів, аварій на трубопроводах і в колонках внаслідок корозії металу, несправності роздавальних кранів та пошкодження

напірних рукавів, несправності зливо-наливних пристроїв резервуарів та дихальних клапанів, розгерметизація люків резервуарів тощо [4, 5].

Важливим заходом з попередження вибухів є застосування систем моніторингу вибухонебезпеки техногенних об'єктів, основними задачами яких є контроль вибухонебезпечності середовища та своєчасне прийняття управляючих рішень спрямованих на усунення загрози вибухів.

Широкого розповсюдження систем моніторингу вибухонебезпеки набули на вугільних шахтах [6]. Існуючі системи моніторингу вибухонебезпеки здійснюють контроль, передачу, зберігання, видачу інформації про вміст метану в рудниковій атмосфері та видачу управляючого сигналу на відключення електроенергії, як основного джерела запалення метаноповітряної суміші.

Основними і найбільш важливими елементами системи моніторингу вибухонебезпеки є засоби контролю вибухонебезпечності середовища, які реагують на наявність та вміст вибухонебезпечних газів чи парів в повітрі. Складні умови їх експлуатації, вплив температури, вологості, зміна тиску, газового складу середовища, випадкові удари, вібрація, заливання водою, забруднення пилом та дія інших факторів можуть впливати на працездатність та стабільність їх роботи, а це, в свою чергу, може призвести до неспрацювання або помилкового спрацювання засобів вибухозахисту, наприклад захисного вимкнення електроенергії, що може стати є однією із причин виникнення вибухів.

Все це потребує проведення подальших досліджень термокаталітичних датчиків для вдосконалення систем моніторингу вибухонебезпечності.

Мета статті (постановка завдання).

Враховуючи вищезазначене, метою роботи є проведення бібліометричного аналізу наукових публікацій з цивільного захисту та охорони праці в Україні для з'ясування загального стану питання та виявлення тенденцій розвитку. Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні завдання:

– провести первинний аналіз стану наукових публікацій за визначеними ключовими словами в наукометричній базі Scopus;

– провести подальший аналіз стану наукових публікацій за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення VOSviewer;

– виокремити загальні тенденції розвитку напрямку цивільного захисту та охорони праці.

Методи дослідження.

В роботі застосовані експериментальні дослідження серійних термокаталітичних датчиків пелістерного типу з платино-паладієвим каталізатором, оцінка та узагальнення результатів досліджень.

Виклад основного матеріалу.

Експериментальні дослідження впливу засобів контролю вибухонебезпечності здійснювали в лабораторних умовах з використанням атестованої метаноповітряної суміші з концентрацією метану 1,0 %об.

Застосовувані в сучасних термокаталітичних датчиках керамічні та металокерамічні фільтроелементи, за порівняно малого їх газодифузійного опору, забезпечують надійний захист чутливих елементів датчиків від впливу чинників навколишнього середовища. Ці фільтроелементи запобігають також заливці внутрішньої порожнини термокаталітичного датчика водою під час впливу струменя води на виносний датчик, а також навмисному або випадковому зануренню датчика у воду. Однак під час впливу води на виносний датчик відбувається насичення вологою фільтроелемента, що викликає різке збільшення його газодифузійного опору. За тривалого або багаторазового впливу води, особливо забрудненої і високомінералізованої, на термокаталітичний датчик можлива зміна газодифузійних властивостей фільтроелемента. Крім того, не є винятком накопичення різних забруднювачів на внутрішньому боці фільтроелемента, що може призвести до зміни радіаційної складової теплообміну і викликати відповідно зміщення нуля газоаналізатора.

В лабораторних умовах проводилися дослідження впливу багаторазового

заливання фільтроелемента водою, з точки зору змін властивостей термокаталітичних датчиків після його висихання.

Для досліджень нами було відібрано 10 серійних термокаталітичних датчиків з металокерамічним фільтроелементом, що використовуються в газоаналізаторах метану АТ-3-1, які були піддані багаторазовому впливу води такого складу:

- чиста дистильована вода;
- чиста високомінералізована вода з протипожежно-зрошувального трубопроводу шахти «Західно-Донбаська»;
- неочищена високомінералізована шахтна вода.

Дослідження проводили за постійної концентрації метану в газовій камері, що дорівнює 1,0 %об., у такій послідовності:

- датчики встановлювали в газову камеру яку спочатку заповнювали чистим повітрям і після закінчення перехідних процесів встановлювали нуль газоаналізатора;
- газова камера заповнювалась атестованою метаноповітряною сумішшю з концентрацією метану 1,0 %об. і шляхом регулювання чутливості газоаналізатора встановлювались відповідні його показання;
- після встановлення показань аналізатора випробовуваний виносний датчик занурювався в посудину з водою на час, достатній для повного насичення

фільтроелемента водою. Факт насичення фільтроелемента водою встановлювали за різким зниженням показань аналізатора (практично до нуля);

- газова камера продувалася чистим повітрям;
- після стікання води, висихання фільтроелемента і закінчення перехідних процесів, викликаних заливанням фільтроелемента (до 2-х годин), знімали показання з аналізатора в чистому повітрі, визначали величину зміщення нуля аналізатора;
- проводилося коригування нуля аналізатора;
- газову камеру заповнювали метаноповітряною сумішшю з концентрацією метану 1,0 %об. і визначали значення сталих показань аналізатора.

У зазначеному порядку проводили послідовно по десять експериментів на кожному датчику за застосування чистої дистильованої, високомінералізованої очищеної та неочищеної шахтної води. Оцінювання впливу заливання водою чутливих елементів на роботу аналізаторів здійснювали окремо за кожним видом впливу для поодиноких і багаторазово повторюваних випадків заливання.

Результати спостережень наведено в табл. 1 - 3.

Таблиця 1.

Вплив дистильованої води на термокаталітичні датчики

№ дат-чика	Початкові показання, %об.	Показання після одноразового заливання, %об.	Зміщення нуля після одноразового заливання, %об.	Показання після багаторазового заливання, %об.	Зміщення нуля після багаторазового заливання, %об.
1	1,0	1,0	0,0	1,0	0,0
2	1,0	1,0	0,0	1,0	0,0
3	1,0	1,0	0,0	1,0	+0,1
4	1,0	1,0	0,0	1,0	0,0
5	1,0	1,0	0,0	1,0	0,0
6	1,0	1,0	0,0	1,0	0,0
7	1,0	1,0	0,0	1,0	+0,1
8	1,0	1,0	0,0	1,0	0,0
9	1,0	1,0	0,0	1,0	+0,1
10	1,0	1,0	0,0	1,0	0,0

Таблиця 2.

Вплив очищеної високомінералізованої шахтної води на термокatalітичні датчики

№ дат-чика	Початкові показання, %об.	Показання після одноразового заливання, %об.	Зміщення нуля після одноразового заливання, %об.	Показання після багаторазового заливання, %об.	Зміщення нуля після багаторазового заливання, %об.
1	1,0	1,0	0,0	1,0	+0,1
2	1,0	1,0	0,0	1,0	+0,1
3	1,0	1,0	0,0	0,9	+0,2
4	1,0	1,0	0,0	1,0	+0,1
5	1,0	1,0	0,0	1,0	+0,1
6	1,0	1,0	0,0	1,0	0,0
7	1,0	1,0	0,0	0,9	+0,2
8	1,0	1,0	0,0	1,0	+0,1
9	1,0	1,0	0,0	1,0	0,0
10	1,0	1,0	0,0	1,0	+0,1

Таблиця 3.

Вплив неочищеної високомінералізованої шахтної води на термокatalітичні датчики

№ дат-чика	Початкові показання, %об.	Показання після одноразового заливання, %об.	Зміщення нуля після одноразового заливання, %об.	Показання після багаторазового заливання, %об.	Зміщення нуля після багаторазового заливання, %об.
1	1,0	1,0	0,0	0,9	+0,2
2	1,0	1,0	0,0	0,9	+0,2
3	1,0	1,0	+0,1	0,8	+0,3
4	1,0	1,0	0,0	0,9	+0,2
5	1,0	1,0	0,0	0,8	+0,3
6	1,0	1,0	0,0	0,9	+0,1
7	1,0	1,0	+0,1	0,8	+0,3
8	1,0	1,0	0,0	0,8	+0,3
9	1,0	1,0	+0,1	0,8	+0,3
10	1,0	1,0	0,0	0,9	+0,1

Обговорення результатів.

Як видно з отриманих результатів, заливка фільтроелементів чистою дистильованою водою не призводить до зміни чутливості аналізаторів, що свідчить про те, що вода практично не взаємодіє з металокерамічним фільтром і не змінює його властивостей. Незначний зсув нуля у трьох датчиків після багаторазового оброблення, мабуть, має випадковий

характер, однак, можливо, це пов'язано з деякими змінами властивостей внутрішньої поверхні фільтроелемента, що відображають, під час тривалого багаторазового впливу води.

Багаторазове заливання фільтроелемента чистою високомінералізованою шахтною водою призводить до зміщення нуля практично у всіх термокatalітичних датчиків (за винятком

двох). Причому характерно, що зміщення нуля у всіх датчиків спостерігається в бік позитивних значень вихідного сигналу.

Причина цього, вочевидь, полягає в тому, що під час багаторазового просочення і висихання фільтроелемента на його внутрішній поверхні накопичуються відкладення солі, що призводить до зменшення коефіцієнта чорноти цієї поверхні і, відповідно, до зниження частки радіаційної складової теплообміну термоелементів. З огляду на те, що коефіцієнт чорноти каталітично активного елемента в нагрітому стані доходить до 0,98, а порівняльного - не перевищує 0,85 [7], зменшення коефіцієнта чорноти внутрішньої поверхні фільтроелемента повинно призводити до дещо більшого розігрівання робочого елемента і зміщення нуля в область позитивних значень вихідного сигналу.

Чутливість восьми термокаталітичних датчиків після багаторазового заливання високомінералізованою шахтною водою залишилася незмінною. Однак у двох із них спостерігалася зниження вихідного сигналу на 0,1 %об. Можна було б припустити, що таке незначне зниження чутливості має випадковий характер, проте для цих датчиків характерне також і максимальне зміщення нуля, що дає змогу зробити висновок про зв'язок у цьому разі накопичення сольових відкладень не лише зі зміщенням нуля, а й із деяким підвищенням газодифузійного опору фільтра.

В останньому випадку, вже після одноразового заливання датчика неочищеною високомінералізованою шахтною водою спостерігається зміщення нуля в трьох випадках із десяти. Багаторазове заливання фільтроелемента викликає зміщення нуля у всіх термокаталітичних датчиків. Як і в попередньому випадку, зміщення нуля у всіх датчиків спостерігається в бік позитивних значень вихідного сигналу. Показання аналізаторів після багаторазового заливання зменшилися на 0,1 - 0,2 %об., що свідчить про більш інтенсивне зростання опору фільтроелемента внаслідок накопичення в його порах нерозчинних твердих частинок.

Слід також зазначити, що випадки потрапляння води в реакційну камеру датчика та заливання термоелементів водою,

які можна досить легко виявити за різким збільшенням струму, споживаного термокаталітичним датчиком під час живлення його від джерела стабільної напруги, або за зниженням напруги на термогрупі - у разі живлення від джерела стабільного струму, під час усіх випробувань нами не виявлено. Тому наслідки заливання термоелементів водою не вивчали.

Висновок.

Виконані дослідження дозволили оцінити вплив випадків заливання водою термокаталітичних датчиків з металокерамічними фільтроелементами на роботу засобів контролю вибухонебезпечності. Виявлено, що навіть при багаторазовому заливанні фільтрів дистильованою водою характеристики термокаталітичних датчиків після висихання їх фільтроелементів не змінюються. При заливанні очищеною мінералізованою водою за багаторазового заливання фільтрів спостерігається зміщення нуля аналізаторів і лише в окремих випадках несуттєве зниження їх чутливості. Заливання неочищеною мінералізованою водою викликає зміщення нуля у всіх аналізаторів і зменшення їх чутливості.

Зважаючи на це, при використанні газоаналізаторів з виносними термокаталітичними датчиками в шахтних умовах, де можливе заливання їх фільтроелементів забрудненою високомінералізованою водою необхідно проводити їх налаштування після виявлення випадків такого заливання. При використанні газоаналізаторів для контролю вибухонебезпечності середовища на об'єктах нафтопаливного комплексу, де за екстремальних природних умов їх експлуатації можливе заливання лише дистильованою дощовою водою, випадки заливання не призводять до зміни характеристик газоаналізаторів після висихання датчиків. Це дозволяє використовувати термокаталітичні датчики не лише вмонтованими в конструкцію газоаналізаторів, а і у вигляді виносних датчиків, що дозволяє значно спростити їх конструктивне виконання, а також процеси налаштування та обслуговування засобів контролю вибухонебезпечності.

Список літератури

1. Управління техногенною безпекою об'єктів підвищеної небезпеки : монографія / В.Ф. Стоєцький та ін. К.: Астон, 2006. 410 с.
2. Безпека та гігієна праці у гірничодобувній галузі та вугільній промисловості в Україні / Міжнародна організація праці; Група технічної підтримки з питань гідної праці та Бюро МОП для країн Центральної та Східної Європи. Київ: МОП, 2018. 36 с.
3. Голінько В.І., Голінько О.В. Теоретико-методологічні засади комп'ютерного моніторингу систем вибухозахисту. Наукові праці ДонНТУ. Серія: «Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка», 2023, №2-37, С. 22-29.
4. Івасенко В.М. Автозаправні станції: дослідження обсягів викидів, вплив на довкілля / Технологический аудит и резервы производства. – 2015. - №1/2 (21). – С.8-12.
5. Івасенко В. М., Приміський В. П. Методи і прилади контролю викидів автозаправних станцій. Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. 2014. № 60 (1102). С. 174-180.
6. Vasyi Holinko, Roman Dychkovskiy, Artur Dyczko, Marcin Popczyk. Methane from Underground Coal Mines in Ukraine: Elements of Acquisition and Management Processes: monograph. KOMAG Institute of Mining Technology. 2024. 108 s.
7. Голинько В.И. Котляров А.К. Контроль взрывоопасности среды в горных выработках и оборудовании угольных шахт: монография. Днепропетровск: изд-во «Ли-ра», 2010. 368 с.

References

1. Stoiets'kyi, V.F., et al. (2006). Upravlinnia tekhnohennoiu bezpekoiu ob'iektiv pidvyshchenoi nebezpeky: monohrafiia [Management of

Technogenic Safety of High-Risk Facilities: Monograph]. Kyiv: Aston. 410 p. (In Ukrainian).

2. Mizhnarodna orhanizatsiia pratsi (International Labour Organization). (2018). Bezpeka ta hihiena pratsi u hirnychodobuvnii haluzi ta vuhilnii promyslovosti v Ukraini [Occupational Safety and Hygiene in the Mining and Coal Industry in Ukraine]. Kyiv: ILO. 36 p. (In Ukrainian).

3. Holinko, V.I., Holinko, O.V. (2023). Teoretyko-metodolohichni zasady kompiuternoho monitorynhu system vybukhozakhystu [Theoretical and Methodological Foundations of Computer Monitoring of Explosion Protection Systems]. Naukovi pratsi DonNTU. Serii: "Informatyka, kibernetika ta obchysliuvalna tekhnika", (2-37), 22-29. (In Ukrainian).

4. Ivashenko, V.M. (2015). Avtozapravni stantsii: doslidzhennia obsiagiv vykidiv, vplyv na dovkillia [Gas Stations: Research on Emission Volumes and Environmental Impact]. Tekhnolohicheskii audit i rezervy proizvodstva, (1/2(21)), 8-12. (In Ukrainian).

5. Ivashenko, V.M., Prymiskyi, V.P. (2014). Metody i prylady kontroliu vykidiv avtozapravnykh stantsii [Methods and Instruments for Controlling Gas Station Emissions]. Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu "KhPI". Serii: Mekhaniko-tekhnolohichni systemy ta komplekсы, (60(1102)), 174-180. (In Ukrainian).

6. Holinko, V., Dychkovskiy, R., Dyczko, A., Popczyk, M. (2024). Methane from Underground Coal Mines in Ukraine: Elements of Acquisition and Management Processes: Monograph. KOMAG Institute of Mining Technology. 108 p.

7. Holinko, V.I., Kotliarov, A.K. (2010). Kontrol' vzryvoopasnosti sredy v gornykh vyrabotkakh i oborudovanii ugol'nykh shakht: monografiia [Control of Explosion Hazard in Mine Workings and Equipment of Coal Mines: Monograph]. Dnipro: Lira Publishing. 368 p. (In Ukrainian).

Голінько Василь Іванович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри охорони праці та цивільної безпеки, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», (пр. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, 49005, Україна). ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6069-0515>
E-mail: golinkongu@gmail.com

Забеліна Валентина Андріївна – аспірант, кафедра охорони праці та цивільної безпеки, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», (пр. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, 49005, Україна). ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7678-7917>
E-mail: vprotsyuk@gmail.com

Кузнецов Олег Костянтинович – аспірант, кафедра охорони праці та цивільної безпеки, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», (пр. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, 49005, Україна). ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4038-8102>
E-mail: oleg.kuznetsov95@gmail.com

STUDY OF THERMOCATALYTIC COMBUSTIBLE GAS SENSORS UNDER WATER INGRESS INTO THEIR GAS DIFFUSION FILTERS

Purpose. To investigate the impact of accidental water ingress into the metal-ceramic gas diffusion filters of thermocatalytic sensors on the performance of explosion hazard monitoring devices.

Methods. The study employs experimental research methods under laboratory conditions using serial thermocatalytic pellistor-type sensors with a non-selective platinum-palladium catalyst. The results are assessed and generalized.

Results. The conducted research allowed us to evaluate the effect of water ingress into thermocatalytic sensors with metal-ceramic filter elements on the performance of explosion hazard monitoring devices. It was found that even after multiple instances of water ingress using distilled water, the characteristics of the thermocatalytic sensors remained unchanged after the filter elements dried. When exposed to purified mineralized water, repeated water ingress led to zero drift in gas analyzers and, in some cases, a slight decrease in sensitivity. In contrast, exposure to unpurified mineralized water resulted in zero drift across all analyzers and a reduction in sensitivity.

Novelty. It was established that repeated water ingress into the metal-ceramic gas diffusion filters of thermocatalytic sensors using unpurified highly mineralized water leads to zero drift of gas analyzers toward positive values and a reduction in sensitivity. This effect is attributed to the accumulation of salt deposits on the inner surface of the filters and an increase in the gas diffusion resistance of the filter.

Practical significance. The findings establish conditions under which it is necessary to check and calibrate explosion hazard monitoring devices based on the thermocatalytic method when operating in coal mines and early hazard detection systems at oil and gas facilities.

Keywords: hazard, combustible gases, fuel, monitoring systems, sensors, explosions.

Vasyl Holinko, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Labor Protection and Civil Security, Dnipro University of Technology, (19 Dmytro Yavornytskoho Ave, 49005 Dnipro).

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6069-0515> E-mail: golinkongu@gmail.com

Valentyna Zabelina, graduate student, Department of Labour Protection and Civil Safety, Dnipro University of Technology, (19 Dmytro Yavornytskoho Ave, 49005 Dnipro).

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7678-7917> E-mail: vprotsyuk@gmail.com

Oleg Kuznetsov, graduate student, Department of Labour Protection and Civil Safety, Dnipro University of Technology, , (19 Dmytro Yavornytskoho Ave, 49005 Dnipro).

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4038-8102> E-mail: oleg.kuznetsov95@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗМИВІВ З ПОЛІВ НА ВИНИКНЕННЯ ПРОЦЕСУ ЕВТРОФІКАЦІЇ ВОДОЗАБОРІВ

Мета: Метою даного дослідження є розкриття механізму впливу зміни вмісту поживних речовин у хімічному складі водних біотопів на життєдіяльність ціанобактерій, зокрема їх розвиток та розмноження при наявності мінеральних добрив, таких як азот, фосфор і калій.

Методологія. Для проведення дослідження використовувалися експериментальні методи, включаючи лабораторні мікроскопічні дослідження та тестування впливу концентрацій основних біогенних елементів на чисельність ціанобактерій у водному середовищі. Спостереження за кольоровістю розчинів і наявністю осадів дозволяли визначати вплив мінеральних добрив на процеси евтрофікації та біологічного розвитку водних екосистем.

Результати. В статті розглянута проблема захисту водозаборів від евтрофікації, покликаної змивами мінеральних добрив з полів. Розкрито механізм впливу на життєдіяльність ціанобактерій змін вмісту поживних речовин у хімічному складі водних біотопів. В результаті досліджень встановлено, що розчинення у воді складного мінерального добрива (азот, фосфор і калій) у діапазоні до 10 г/л сприяє активному розвитку ціанобактерій яке супроводжується повним зв'язуванням мінеральних добавок і інтенсивним поглинанням кисню. Додавання добрив у кількості більше 1 г/л сприяє різкому збільшенню темпів зростання популяції ціанобактерій, що провокує умови цвітіння розчинів. Збагачення кормової бази біотопів добривами забезпечує бурхливе зростання біоценозу і прискорене споживання розчинених речовин. Зареєстрована середня швидкість поглинання фосфору сягала більше 17 г/(л*добу), а азоту - 30 г/(л*добу). Утворення осаду та піни в дослідних судинах було пов'язано з вичерпанням поживних речовин та відмиранням гідробіонтів. Це явище може служити як індикатор зменшення кисню у воді. Результати експерименту підтвердили здатність ціанобактерій інтенсивно перетворювати розчинені у воді азот і фосфор в зв'язані органічні форми. Це відкриває перспективу створення біологічних способів та засобів захисту водозаборів від створення небезпечного середовища.

Наукова новизна: Вперше в дослідженнях проаналізовано механізм взаємодії мінеральних добрив з процесами розвитку ціанобактерій у водних біотопах. Отримані дані про критичні концентрації азоту та фосфору, які сприяють інтенсивному розвитку ціанобактерій та евтрофікації водних джерел, що мають важливе значення для охорони водних ресурсів. Також вперше встановлено, що при додаванні добрив у концентраціях більше 1 г/л спостерігається значне збільшення темпів зростання популяції ціанобактерій, що може призвести до цвітіння води та погіршення якості води в водозаборах.

Практична значимість: Результати дослідження можуть бути використані для розробки нових біологічних методів та технологій захисту водозаборів від процесів евтрофікації, що виникають через надлишкове внесення мінеральних добрив у сільському господарстві. Також отримані дані дозволяють більш точно прогнозувати та контролювати вплив антропогенних навантажень на водні екосистеми, що важливо для поліпшення якості води, зокрема в системах водопостачання. Розробка таких методів може бути важливим кроком у боротьбі з проблемами водозабезпечення та охорони водних ресурсів у районах з інтенсивним сільськогосподарським виробництвом.

Ключові слова: мінеральні добрива, ціанобактерії, біоценоз, штучний біотоп, евтрофікація.

Вступ.

Антропогенна діяльність завжди супроводжується виникненням негативних змін у довкіллі. Інтенсифікація сільського господарства та неконтрольоване використання мінеральних добрив призвело до потрапляння у водні об'єкти разом з поверхневим стоком сполук азоту та фосфору (до 75% всіх біогенних елементів, що надходять у водні джерела припадає на сільське господарство) [1,2,3]. Хоча азот і фосфор вважається важливими біогенними елементами у водній екосистемі, їх надлишок спричиняє активний розвиток ціанобактерій та зменшення кількості зелених водоростей, що продукують кисень. Це призводить до виникнення кисневого дефіциту, і як

наслідок – у ріках та водоймах спостерігається порушення екологічної рівноваги та погіршення умов існування гідробіонтів [4], це погіршує стан питних ресурсів в Україні. Тому актуальним залишається питання дослідження параметрів впливу мінеральних добрив на зміну гідрофізичних та гідробіологічних показників водойм.

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Ціанобактеріальне цвітіння – розповсюджене явище у всьому світі, яке регулюється взаємодією географічних та екологічно різноманітних змінних умов середовища. Довга еволюційна історія видів цвітіння ціанобактерій продиктувала

високий ступінь толерантності та пристосованості як до короткотермінових (тобто сезонних, декадних), так і до тривалих (геологічних) змін довкілля.

У «плямах цвітіння» зосереджена основна біомаса патогенної мікрофлори водойм. Тому, окрім порушення екологічної рівноваги водойми, цвітіння деяких водоростей має багато медичних, економічних та соціальних наслідків [5]. Особливо небезпечним стає позбавлення розчиненого у воді кисню та поява токсичних речовин у такої що використовують до питва води.

Кілька загальних родів ціанобактерій мають здатність продукувати токсини, звані ціанотоксинами, які впливають на людей, худобу, домашніх тварин і дику природу. На процес вироблення токсинів впливають щільність водоростей, генетичний потенціал і фактори навколишнього середовища – температура води, інтенсивність світла, водневий показник води (рН), характеристики вітру [6,7]. Важливим також є наявність взаємодії між водними організмами, такі як хижацтво і конкуренція за поживні речовини. Вироблення токсинів частіше зустрічається влітку, але може відбуватися будь-якою порою року [8]. Ці токсини є гепатотоксичними, нейротоксичними, дерматотоксичними, цитотоксичними, запальними і подразнюючими [9]. Тварини можуть піддаватися впливу ціанотоксинів під час пиття або контакту з водою в забруднених озерах і ставках. Люди найчастіше піддаються впливу ціанотоксинів під час купання, катання на плавзасобах в забруднених водах. Ускладняється підготовка питної води.

Також, збільшений розвиток синьо-зелених водоростей, який викликає «цвітіння» води з накопиченням надлишкової біомаси, створює технічні труднощі при подачі води в міську водопровідну мережу, погіршує її хімічний склад і санітарні показники. В наслідок чого стає неможливим очищення річкової води до вимог стандартів на питну воду на станціях первинного очищення водозаборів прибережних міст [10].

Не дивлячись на те, що евтрофікація, порушує екологічні умови водних систем і зменшує біологічне різноманіття, у той же час, загальна кількість фітопланктону у

водоймах є хорошим біологічним індикатором трофічного стану, оскільки водорості всюдишні, численні і швидко реагують на зміни у навколишньому середовищі та в екосистемі.

У природних умовах у водних екосистемах існує баланс між ціанобактеріями та іншими групами фітопланктону [11]. Проте, поширенню ціанобактерій сприяють специфічні чинники. Вони визначаються рядом особливостей, включаючи клітинну фізіологію (газові бульбашки в клітинах дозволяють регулювати плавучість), фізіологічну відповідь (наприклад, використання світла та поживних речовин), розмір клітин, структуру клітин і загальну морфологію. Переважання ціанобактерій над іншими видами відбувається за певних умов навколишнього середовища, включаючи оптимальну інтенсивність світла і температуру води, наявність поживних речовин і стабільність у товщі води [12]. Антропогенна діяльність, у вигляді інтенсивних промислових, побутових та агропромислових стоків, веде, у першу чергу, до суттєвих змін хімічного складу водного середовища, як біотопу для гідробіонтів.

Виходячи з цього, важливим є визначення того, як зміна параметрів водних екосистем впливає на характер існування ціанобактерій. Для цього доцільно дослідити як на розвиток фітопланктону, зокрема ціанобактерій, оказує дія зміни вмісту основних поживних для ціанобактерій сполук азоту і фосфору, а також концентрація розчиненого у воді кисню.

Мета статті (постановка завдання).

Мета роботи – розкриття механізму впливу на стан вихідних до водозабору вод життєдіяльності ціанобактерій при зміні вмісту поживних речовин у хімічному складі водних біотопів.

Предмет дослідження – встановлення закономірностей процесу розмноження ціанобактерій в залежності від наявності основних видів споживчих речовин на прикладі комплексного мінерального добрива.

Об'єкт дослідження – вплив вмісту поживних речовин у штучному біотопі на розмноження ціанобактерій, при постійній температурі та обмежених природньому освітленні і газообміні.

Методи досліджень – в роботі використано, переважно, експериментальний метод, що ґрунтується на лабораторних мікроскопних дослідженнях показників чисельності ціанобактерій, та тестових – впливу вмісту азоту та фосфору у водному середовищі. Крім того проводились візуальні спостереження кольоровості розчинів та наявності у судинах звисів і осаду.

Методи дослідження.

Для проведення експерименту при стабільних погодних умовах зі ставка-накопичувача «Нульовка» м. Покровськ було відібрано воду з природним вмістом гідробіонтів і такими показниками: температура – 24°C, концентрація розчиненого кисню – 5 мг/л, фонові концентрації фосфатів – 0,8 мг/л, нітратів – 5 мг/л. Враховуючи, що розмноження та активність ціанобактерій напругу залежить від температури води, для забезпечення стабільних результатів дослідження проводились у літній період часу, коли температура у лабораторії була в діапазоні 24...28°C. Освітлення приміщення було природне крізь вікна, що обмежувало процес фотосинтезу. Газообмін відбувався крізь вільну поверхню води у судини.

В якості хімічної добавки було обрано одну з найпопулярніших марок добрив, що наразі застосовується в агропромисловому комплексі, – «Майстер агро», яка у своєму складі містить 21% азоту, 12% фосфору та 21% калію.

На першому етапі досліджень визначали «критичний» вміст добрив, тобто концентрацію, при якій спостерігається загибель усіх представників споживаючих кисень гідробіонтів. Для цього з відібраної води було приготовлено сім зразків розчинів об'ємом один літр в які додали мінеральні добрива у концентрації до 100 г/л.

З урахуванням отриманих первинних даних, на другому етапі експерименту, з обраної для досліджень природної води було приготовлено сім зразків розчинів об'ємом по одному літру з концентрацією доданих добрив, г/л: №1 – 0 (контрольний); №2 – 0,1; №3 – 0,5; №4 – 1,0; №5 – 3,0; №6 – 5,0; №7 – 8,0.

За допомогою бінокулярного мікроскопу XSP-128B LED з приставкою Levenhuk M1000 PLUS та стандартної камери Горяєва робили заміри чисельності представників водоростей.

Підрахунок чисельності ціанобактерій виконували методом Єгорова, він полягав у наступному. Скляною паличкою обережно, щоб не пошкодити водорості, розмішували розчин та зразок досліджуваної води поміщали до камери Горяєва. Далі рахували ті ціанобактерії, що знаходилися у верхній та лівій частині клітини. Ціанобактерії, що знаходилися на правій та нижній межі клітини, при підрахунку не враховувалися. Для зменшення статистичної похибки підрахунок кількості водоростей у воді робили 10 разів, зразки води з ємності відбирали за допомогою піпетки з різних частин лабораторної склянки.

Температура води у дослідних зразках, під час проведення експерименту знаходилася в діапазоні 23...25°C.

Концентрацію кисню у дослідних зразках, а також концентрацію фосфатів та нітратів визначали лабораторним тестовим методом за допомогою «Rikka тест PO₄» та «Rikka тест NO₃».

Виклад основного матеріалу.

В ході першого етапу експерименту з оцінки, так званого, «критичного» вмісту добрив, було встановлено, що у зразках розчинів з концентрацією добрив до 10 г/л загибель гідробіонтів майже не відбувалась, при – 10...20 г/л спостерігалось зменшення кількості гідробіонтів до 50...70%, «критичним» ж виявився вміст добрив понад 30 г/л. Таким чином, для подальших досліджень було прийнято використання вихідних розчинів в яких сумарний вміст поживних речовин не перевищує 10 г/л, тобто в судинах початкова концентрація до 10%.

На початку експерименту встановили фонову кількість ціанобактерій у зразках природної води, вона становила близько $2,3 \cdot 10^6$ од./літр.

У досліджуваних зразках спостерігався ріст як представників ціанобактерій (рис.1) так і зелених водоростей.

Підрахунок кількості ціанобактерій, у дослідних розчинах, проводили на другому, п'ятому та восьмому тижні спостережень. В якості прикладу, знімки, при десятикратному збільшенні, еволюції водоростей у зразку №6 із початковою концентрацією добрив 5 г/л за період восьми тижнів представлені на рисунку 2.

Проведені у вказаний період спостереження показали, що наявність

поживних добавок в цілому позитивно впливає на розмноження ціанобактерій, а по вичерпанню поживних ресурсів їх чисельність скорочується (табл.1). Так в контрольному сосуді, без підкормки, ціанобактерії почали зникати і на кінець спостережень їх стало менше в чотири рази. При наявності малих, 0,1...0,5 г/л, доз підкормки процес скорочення чисельності гальмувався на другому-п'ятому тижнях (зразки №2 і №3). Додавання добрив у кількості близько 1 г/л (зразок №4) забезпечувало стабільне існування ціанобактерій на майже постійному рівні за

період спостережень. Але додавання добрив у діапазоні 3...5 г/л (зразки №5 і №6) сприяло значному зростанню кількості бактерій відносно вихідного рівня приблизно в 3,5..4,5 разів на другому тижні спостережень, та в 1,3...3,2 – на восьмому тижні. Додавання більших доз добрив, близьких до «критичного» (зразок №7), призводило до деякого зниження чисельності ціанобактерій на другому тижні, потім, на п'ятому тижню, до короткочасного троекратного росту чисельності, а в подальшому зниженню приблизно вдвічі відносно фоновому рівня.

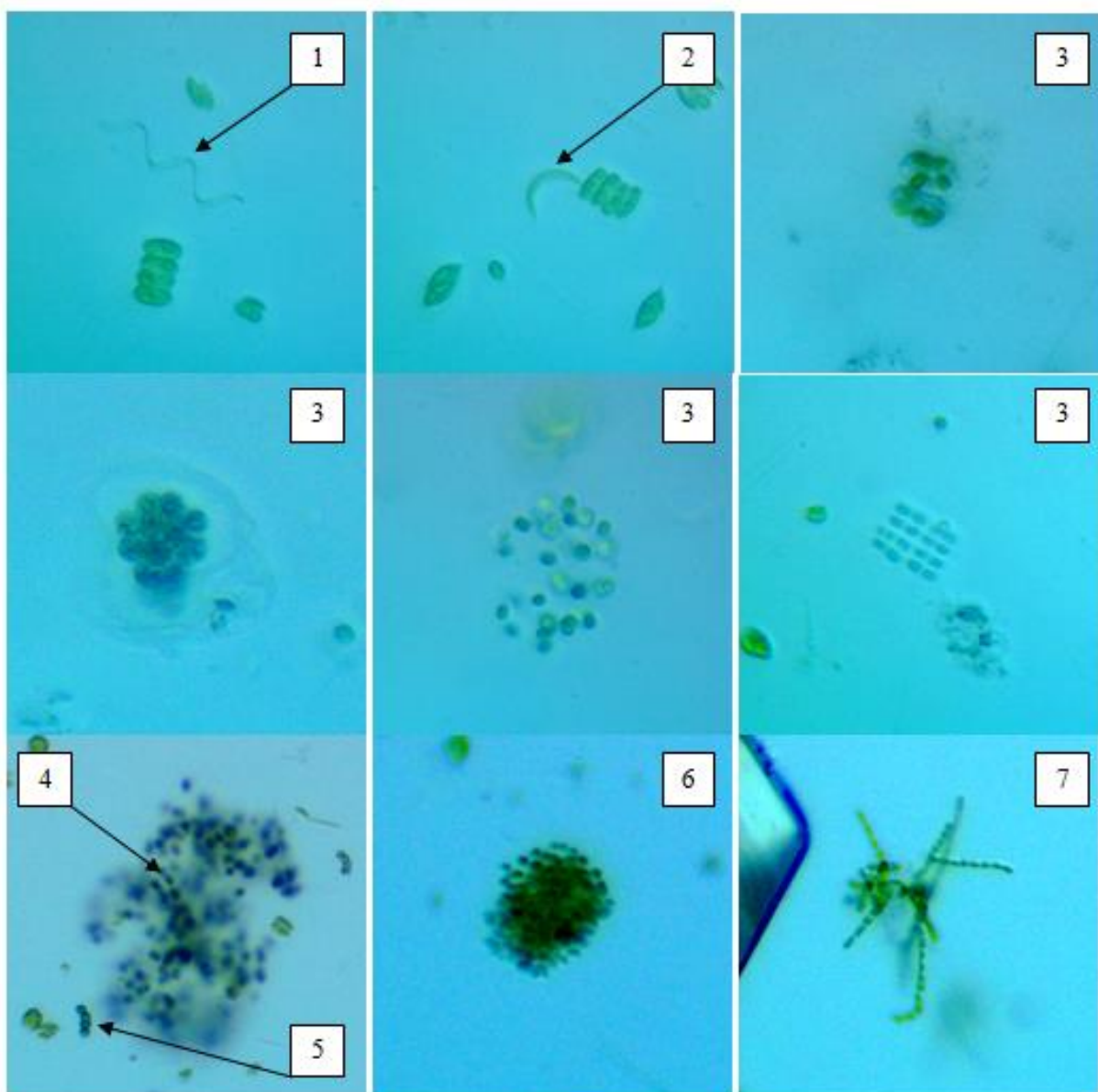


Рис.1. Ціанобактерії роду *Oscillatoriales* (1), *Dactylococcopsis raphides* (2), *Chroococcales* (3), *Microcystis aeruginosa* (4), *Nostoc* (5), *Pleurocapsales* (6), *Stigonematales* (7) у вихідній воді

Таблиця 1.

Вплив додатку добрив на динаміку чисельності ціанобактерій

№ зразка	Додано добрив, г/л	Кількість ціанобактерій, од/л·10 ⁶ % (до фону)			
		Фон	Тиждень спостережень		
			другий	п'ятий	восьмий
1	-	2,3/100	2,5/108	1,5/65	0,6/26
2	0,1		2,7/117	2,8/122	0,4/17
3	0,5		2,9/126	1,1/48	0,5/22
4	1,0		2,4/104	2,9/126	2,7/117
5	3,0		2,6/113	8,4/365	3,1/134
6	5,0		3,1/135	10,3/448	7,5/326
7	8,0		1,9/83	7,6/330	1,3/56

На восьмому тижні досліджень вимірювали концентрацію фосфатів та нітратів у дослідних зразках, а також

концентрацію кисню тестовим методом за допомогою «Rikka тест PO₄» та «Rikka тест NO₃» (табл.2).

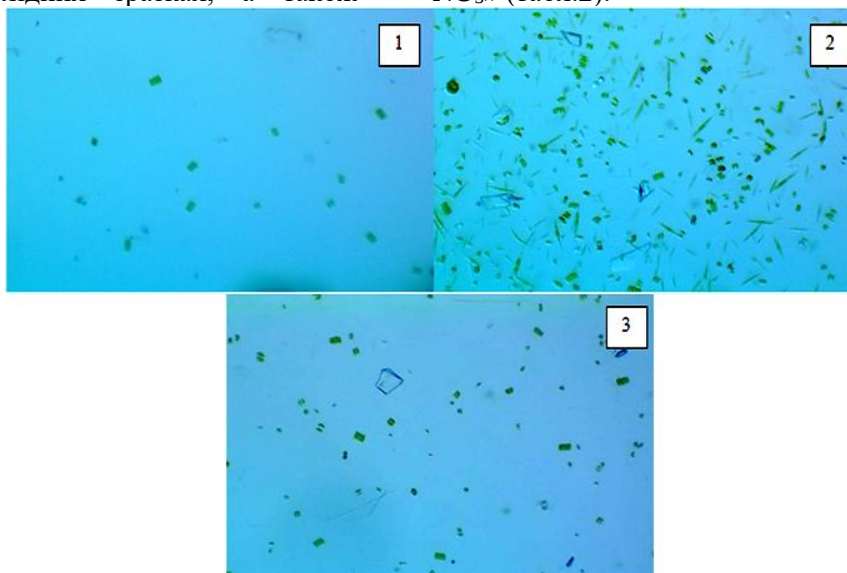


Рис. 2. Наявність гідробіонтів у зразку №6 станом на другий (1), п'ятий (2) та восьмий (3) тижні експерименту

Таблиця 2.

Результати вимірювання у зразках концентрацій фосфатів, нітратів та розчиненого кисню

№ зразка	Концентрації, мг/л								
	фонові			після додавання добрив			восьмий тиждень		
	PO ₄	NO ₃	O ₂	PO ₄	NO ₃	O ₂	PO ₄	NO ₃	O ₂
1	0,8	5	5	0,8	5	5	>2	5	8
2				12,8	26		2	10	8
3				60,8	110		1,5	100	<2
4				120,8	215		0,8	>50	2
5				360,8	635		0,1	20	<1
6				600,8	1055		<0,05	2	0
7				960,8	1685		<0,05	0	0

Протягом цілого періоду проведення експерименту проводився візуальний контроль змін кольору дослідних розчинів,

наявності осаду, а також появи плівок або бульбашок на поверхні. Результати такого роду процесів відображено у таблиці 3.

Таблиця 3.

Візуальні зміни розчинів та осадів у досліджуваних судинах

№ зразка	Вміст добрив г/л	Тиждень спостережень								
		другий			п'ятий			восьмий		
		Колір	Осад	Стан поверхні	Колір	Осад	Стан поверхні	Колір	Осад	Стан поверхні
1	-	Прозорий, зелений відтінок	-	-	Прозорий	Сліди	-	Прозорий	Тонкий коричн.	-
2	0,1	Також	-	-	Також	Тонкий коричн.	-	Також	Також	Біла плівка
3	0,5	-«»-	-	-	-«»-	Тонкий зелений	-	-«»-	Тонкий зелений	Також
4	1	-«»-	-	-	Прозорий, зелений відтінок	Також	-	-«»-	Також	Зелені бульбашки
5	3	-«»-	-	-	Також	-«»-	-	-«»-	Також	Також
6	5	-«»-	-	-	Мутний, зелений відтінок	-«»-	-	Мутний	Зелений	Тонка зелена з бульбашками
7	8	-«»-	-	-	Також	-«»-	Тонка плівка	також	Товстий зелений	Зелена з бульбашками

Обговорення результатів.

Ідея проекту полягала в дослідженні розвитку ціанобактеріальної частини біоценозу у штучно створених біотопах з дозованим вмістом поживних речовин, а саме азоту і фосфору, при постійній температурі і обмежених освітленні та газообміні. Це дозволяло обґрунтувати вихідні умови для ефективного водозабезпечення водозаборів та існуючого обладнання водоканалів.

Перший етап досліджень був присвячений встановленню «критичного» рівня азоту і фосфору у водному середовищі при якому неможливим є існування ціанобактерій. Було встановлено, що наявність домішок складного мінерального добрива у концентраціях більше 10г/л пришвидшує загибель ціанобактерій шляхом інтенсивного споживання розчиненого у рідині кисню та утворення токсичного анаеробного середовища. Вміст більше 30г/л визначає умови для лавиноподібного, тривалістю кількох діб, повного зникнення ціанобактерій. Це дозволило обрати для подальших досліджень штучні біотопи, у

яких існують початкові умови життєдіяльності аеробів, тобто такі що містять не більше 10 г/л мінеральних добрив.

На підставі результатів мікроскопних досліджень (див. табл.1) побудовано графік динаміки наявності ціанобактерій в залежності від кількості доданих мінеральних добрив (рис.3). Він наглядно показує, що процес життєдіяльності ціанобактерій має не простий характер, його основними складовими частинами, за логікою, є споживання їстівних речовин та кисню і конкуренція з іншими видами гідробіонтів. По виснаженню у розчинах поживних речовин відбувається загибель гідробіонтів та утворення осаду, а в подальшому – розкладення органічних залишків з утворенням газів та флотацією частинок у вигляді піни.

На початку експерименту спостерігався рівномірний зріст водоростей у всіх зразках, але на п'ятому тижні спостережень відбулось значне прискорення у зразках №5, №6 та №7 з відповідною концентрацією добрив, г/л: 3, 5 та 8.

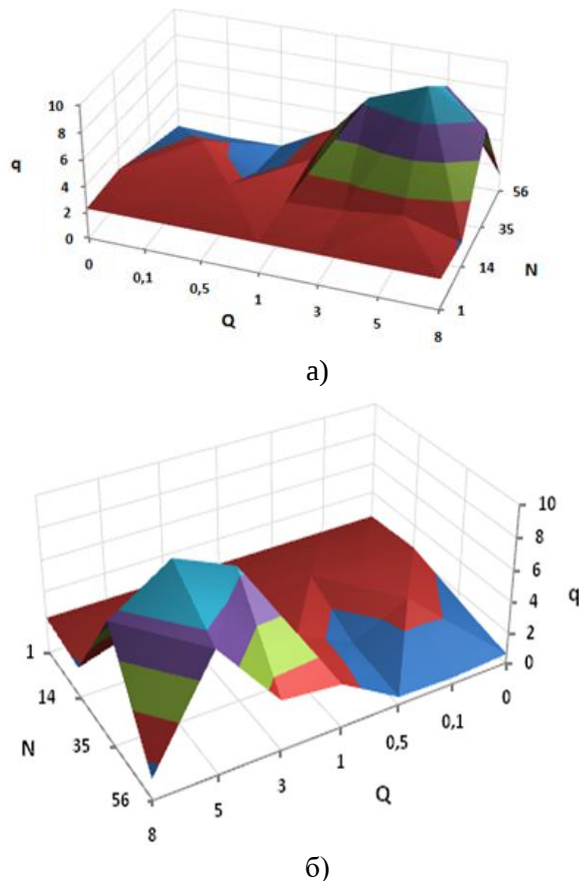


Рис. 3. Вплив додавання мінеральних добрив на динаміку чисельності ціанобактерій: а – проекція графіку при достатку споживчих речовин; б - при виснаженні; q – кількість ціанобактерій, од/л · 10⁶; Q – початковий вміст добрив, г/л; N – тривалість спостережень, діб

У зразках №1 та №2, де вміст поживних для ціанобактерій речовин мінімальний, концентрація кисню збільшується у період досліджень з 5 мг/л до 8 мг/л (див.табл.2), це пов'язано зі зростанням переважно зелених водоростей, що фотосинтезують кисень у процесі життєдіяльності. Обмеженість фосфорної та азотної кормової бази призвела до скорочення наприкінці експерименту чисельності ціанобактерій у 4...6 разів відносно фонові. Проте водорості, завдяки наявності достатніх для них світла та їжі, починають швидко розвиватися, про те свідчить поява коричневого осаду у судинах №1, №2. У складі темного осаду превалюють останки водоростей діатомового виду. Розкладання відмерлих водоростей призвело до утворення піни білого кольору на восьмому тижні (див.табл.3).

Додавання добрив у кількості більше 1г/л сприяє різкому збільшенню темпів зростання популяції ціанобактерії, що провокує умови цвітіння розчинів. Більш багатий біотоп забезпечує бурний зріст чисельності бактерій у кілька разів, наприклад №5 і №6. Але їх бурна діяльність потребує суттєвих кількостей добрив та кисню, і після вичерпання ресурсів біотопу, після п'ятого тижня, чисельність ціанобактерій різко знижується. Це підтверджує практична відсутність фосфору, азоту і кисню у розчинах на восьмому тижні (див.табл.2). Розчинені елементи були витрачені на будівництво клітин бактерій і водоростей, тобто перейшли з рідкого стану у зв'язаний (колоїдний або квазітвердий). Наявність значної маси загиблих гідробіонтів при вичерпанні поживних речовин призвела до утворенню доволі значного осаду зеленого кольору та помутнінню розчинів.

Постачання кисню з вільної поверхні розчинів та фотосинтез були обмежені. На харчування ціанобактерії витрачався переважно розчинений у воді кисень. У зразках №3 та №4 підсумкова концентрація кисню зменшується до рівня не більш 2 мг/л, а у зразку №5 – <1 мг/л. У зразках №6 та №7 кисень взагалі не спостерігається, це пояснюється тим, що в них активно розповсюдилися представники ціанобактерій і витратили весь кисень і переважну частину добрив.

На перший погляд, здається що у зразку №7 розвиток ціанобактерії відбувався менш інтенсивно ніж у №5 і №6, проте відсутність добрив та кисню в розчині на восьмому тижні, а також найраніше: помутніння розчину, утворення великого осаду зеленого кольору та піни з бульбашками свідчать про наявність бурхливого процесу споживання добрив та кисню в строк коротший ніж періодичність проведення спостережень.

Середня швидкість поглинання добрив і азоту у дослідних судинах за результатами експеримент суттєво різнилась по мірі зростання концентрації від 0,19 до 17,14 г/(л*добу) для фосфору, та від 0,28 до 30,0 г/(л*добу) – азоту, вона була пропорційна чисельності біоценозу. У тих зразках (№№5-7) де процес життєдіяльності ціанобактерії наближався до скінчення, тобто вміст кисню у розчині наближався до нуля, співвідношення поглинутих фосфору і азоту

було приблизно таким як у доданої дози добрива. З цього слідує що біоценоз вживав у їжу практично вісь споживний ресурс біотопу. Нажаль, частота проведення спостережень була низькою, що слід відмітити як недолік методики. Це примусило отримувати чисельні та часові показники лише у першому наближенні.

Остаточні розчини були позбавлені азоту і фосфору, тобто відбулась певна демінералізація води. Це означає що, існує можливість забезпечувати очищення біологічним способом, наприклад, стоків з аграрних полів, які у своєму складі містять добрива. Для ефективного попередження розвитку анаеробів демінералізовану воду доцільно збагатити киснем, наприклад за допомогою аераторів для неглибоких водойм [13,14]. Осад і піна, що утворюються при цьому, містять концентровані фосфорні та азотні сполуки які можуть служити напівфабрикатом для виготовлення добрив.

Висновок.

Проведений експеримент з оцінки життєдіяльності ціанобактеріального біоценозу в штучному біотопі з дозованим вмістом споживчих речовин дозволив отримати наступні висновки.

- Розчинення у воді широко використаного у сільському господарстві складного мінерального добрива (азот, фосфор і калій) у діапазоні 0...30 г/л дозволяє

існування в неї ціанобактеріального біоценозу.

- У діапазоні до 10 г/л додавання добрива сприяє активному розвитку ціанобактерій яке супроводжується повним зв'язуванням мінеральних добавок і поглинанням кисню. Вичерпання споживних ресурсів призводить до зубожіння біоценозу і утворенню анаеробного середовища.

- Додавання добрив у кількості більше 1 г/л сприяє різкому збільшенню темпів зростання популяції ціанобактерії що провокує умови цвітіння розчинів.

- Збагачення кормової бази біотопів забезпечує бурхливе зростання біоценозу і прискорене споживання розчинених речовин. Зареєстрована середня швидкість поглинання фосфору сягала більше 17 г/(л*добу), а азоту - 30 г/(л*добу).

- Утворення осаду та піни в дослідних судинах було пов'язано з вичерпанням поживних речовин та відмиранням гідробіонтів. Це явище може служити як індикатор зменшення кисню у воді.

- Результати експерименту підтвердили здатність ціанобактерій інтенсивно перетворювати розчинені у воді азот і фосфор в зв'язані органічні форми. Це відкриває перспективу створення біологічних способів та засобів очищення вихідних вод для водозаборів з наступною їх аерацією.

Список літератури

1. Akedrin T.N., Koffi K., Thiegb K., Akaffou D.S., Ouattara A. Distribution spatiosaisonnière des cyanobactéries le long du cours d'eau, la Lobo, haut Sassandra (Daloa, Côte d'Ivoire), Tropicultura, 2017. 35(4), P. 288–299. <https://doi.org/10.25518/2295-8010.1083>
2. Comparison of satellite reflectance algorithms for estimating chlorophyll-a in a temperate reservoir using coincident hyperspectral aircraft imagery and dense coincident surface observations / R. Beck et al. Remote Sensing of Environment. 2016. №178. P.15–30. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.03.002>
3. Celikkol S., Fortin N., Tromas N., Andriananjamanantsoa H., Greer C.W. Bioavailable Nutrients (N and P) and Precipitation Patterns Drive Cyanobacterial Blooms in Missisquoi Bay, Lake Champlain.

Microorganisms, 2021. №9, 2097. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9102097>

4. Kostenko V., Tavrel M., Bohomaz O., Zavyalova O., Kostenko T., Myhalenko K., Kostyrka O. Experimental Testing of Water Body Aeration Airlift Technology. Ecological Engineering & Environmental Technology, 2022. №23(3), P. 184–192. <https://doi.org/10.12912/27197050/147635>

5. Kostenko V., Zavyalova O., Chepak O., Pokalyuk V. Mitigating the adverse environmental impact resulting from closing down of mining enterprises. Mining of Mineral Deposits, 2018. №12, P.105–112. <https://doi.org/10.15407/mining12.03.105>

6. Malovanyy, M., Nikiforov, V., Kharlamova, O., & Sinelnikov A. (2015). Оцінювання екологічної небезпеки в акваторіях дніпровських водосховищ внаслідок неконтрольованого розвитку ціанобактерій. Scientific Bulletin of UNFU,

№25(6), P.159–164.
<https://nv.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/view/930>

7. Мальований М.С., Никифоров В.В., Синельников О.Д., Харламова О.В., Бунько В.Я. Вплив гідродинамічної кавітації на біологічні об'єкти. Технології харчової, легкої та хімічної промисловості, 2015. №5/4(25), C.41–45.
https://sci.ldubgd.edu.ua/bitstream/123456789/2099/1/%235_2014.pdf

8. Marmen S., Blank L., Al-Ashhab A., Malik A., Ganzert L., Lalar M., Grossart H.P., Sher D. The Role of Land Use Types and Water Chemical Properties in Structuring the Microbiomes of a Connected Lake System. *Frontiers in Microbiology*, 2020. №11, P. 89.
<https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00089>

9. Matthews M.W., Odermatt D. Improved algorithm for routine monitoring of cyanobacteria and eutrophication in inland and near-coastal waters. *Remote Sensing of Environment*, 2015. №156, P.374–382.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.10.010>

10. Matthews M.W., Bernard S. Characterizing the Absorption Properties for Remote Sensing of Three Small Optically-Diverse South African Reservoirs. *Remote Sensing*, 2013. №5(9), P.4370–4404.
<https://doi.org/10.3390/rs5094370>

11. Michalak A.M., Anderson E.J., Beletsky D., Boland S., Bosch N.S., Bridgeman T.B., Chaffin J.D., Cho K., Confesor R., Daloglu I. et al. Record-setting algal bloom in Lake Erie caused by agricultural and meteorological trends consistent with expected future conditions. *The Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 2013. №110, P.6448–6452.
<https://doi.org/10.1073/pnas.121600611>

12. Padedda B.M., Sechi N., Lai G.G., Mariani M.A., Pulina S., Sarria M., Satta C.T., Virdis T., Buscarinu P., Lugliè A. Consequences of eutrophication in the management of water resources in Mediterranean reservoirs: a case study of Lake Cedrino (Sardinia, Italy). *Global Ecology and Conservation*, 2017. №12, P. 21–35.
<https://doi.org/10.1016/j.gecco.2017.08.004>

13. Stumpf R.P., Wynne T.T., Baker D.B., Fahnenstiel G.L. Interannual Variability of Cyanobacterial Blooms in Lake Erie. *PLoS ONE* 2012. №7(8), P.42–44.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0042444>

14. Tavrel M., Kostenko V., Bohomaz O., Kostenko T., Zemlianskyi O., Pidhorny M.

Recirculating Airlift for Aeration of Shallow Water Bodies. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 2022. №23(5), P.177–187.

<https://doi.org/10.12912/27197050/152114>

References

1. Akedrin T.N., Koffi K., Thiegba K., Akaffou D.S., Ouattara A. 2017. Distribution spatiosaisonnière des cyanobactéries le long du cours d'eau, la Lobo, haut Sassandra (Daloa, Côte d'Ivoire), *Tropicultura*, 35(4), 288–299.
<https://doi.org/10.25518/2295-8010.1083>

2. Beck R.A., Zhan S., Liu H., Tong S., Yang B., Xu M., Ye Z., Huang Y., Wu Q., Wang S., et al. 2016. Comparison of satellite reflectance algorithms for estimating chlorophyll-a in a temperate reservoir using coincident hyperspectral aircraft imagery and dense coincident surface observations. *Remote Sensing of Environment*, 178, 15–30.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.03.002>

3. Celikkol S., Fortin N., Tromas N., Andriananjamanantsoa H., Greer C.W. 2021. Bioavailable Nutrients (N and P) and Precipitation Patterns Drive Cyanobacterial Blooms in Missisquoi Bay, Lake Champlain. *Microorganisms*, 9, 2097.
<https://doi.org/10.3390/microorganisms9102097>

4. Kostenko V., Tavrel M., Bohomaz O., Zavyalova O., Kostenko T., Myhalenko K., Kostyrka O. 2022. Experimental Testing of Water Body Aeration Airlift Technology. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 23(3), 184–192.
<https://doi.org/10.12912/27197050/147635>

5. Kostenko V., Zavyalova O., Chepak O., Pokalyuk V. 2018. Mitigating the adverse environmental impact resulting from closing down of mining enterprises. *Mining of Mineral Deposits*, 12, 105–112.
<https://doi.org/10.15407/mining12.03.105>

6. Malovanyy M.S., Nykyforov V.V., Kharlamova O.V., Synelnikov O.D. 2015. Assessment of ecological danger in the water areas of the Dnipro reservoirs due to the uncontrolled development of cyanobacteria. *Scientific Bulletin of NLTU of Ukraine*, 25(6), 159–164.
<https://nv.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/view/930>

7. Malovanyy M.S., Nykyforov V.V., Synelnikov O.D. et al. 2015. The influence of hydrodynamic cavitation on biological objects.

Technologies of food, light and chemical industry, 5/4(25), 41–45.
https://sci.lidubgd.edu.ua/bitstream/123456789/2099/1/%235_2014.pdf

8. Marmen S., Blank L., Al-Ashhab A., Malik A., Ganzert L., Lalar M., Grossart H.P., Sher D. 2020. The Role of Land Use Types and Water Chemical Properties in Structuring the Microbiomes of a Connected Lake System. *Frontiers in Microbiology*, 11, 89.
<https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00089>

9. Matthews M.W., Odermatt D. 2015. Improved algorithm for routine monitoring of cyanobacteria and eutrophication in inland and near-coastal waters. *Remote Sensing of Environment*, 156, 374–382.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.10.010>

10. Matthews M.W., Bernard S. 2013. Characterizing the Absorption Properties for Remote Sensing of Three Small Optically-Diverse South African Reservoirs. *Remote Sensing*, 5(9), 4370–4404.
<https://doi.org/10.3390/rs5094370>

11. Michalak A.M., Anderson E.J., Beletsky D., Boland S., Bosch N.S., Bridgeman T.B., Chaffin J.D., Cho K., Confesor R., Daloglu I. et al. 2013. Record-setting algal bloom in Lake

Erie caused by agricultural and meteorological trends consistent with expected future conditions. *The Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 110, 6448–6452.
<https://doi.org/10.1073/pnas.121600611>

12. Padedda B.M., Sechi N., Lai G.G., Mariani M.A., Pulina S., Sarria M., Satta C.T., Virdis T., Buscarinu P., Lugli'e A. 2017. Consequences of eutrophication in the management of water resources in Mediterranean reservoirs: a case study of Lake Cedrino (Sardinia, Italy). *Global Ecology and Conservation*, 12, 21–35.
<https://doi.org/10.1016/j.gecco.2017.08.004>

13. Stumpf R.P., Wynne T.T., Baker D.B., Fahnenstiel G.L. 2012. Interannual Variability of Cyanobacterial Blooms in Lake Erie. *PLoS ONE* 7(8), 42–44.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0042444>

14. Tavrel M., Kostenko V., Bohomaz O., Kostenko T., Zemlianskyi O., Pidhornyy M. 2022. Recirculating Airlift for Aeration of Shallow Water Bodies. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 23(5), 177–187.
<https://doi.org/10.12912/27197050/152114>

Костенко Віктор Климентович – д-р. техн. наук, професор, завідувач кафедри природоохоронної діяльності ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» (82100, Україна, Львівська область, м. Дрогобич, вул. Шевченка, 9); професор кафедри безпеки праці та охорони довкілля ТУ «Метінвест Політехніка» (69008, Україна, Запорізька обл., м. Запоріжжя, Південне шосе, 80)
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8439-6564> E-mail: vk.kostenko@gmail.com

Таврель Марина Ігорівна – старший викладач кафедри безпеки праці та охорони довкілля ТУ «Метінвест Політехніка» (69008, Україна, Запорізька обл., м. Запоріжжя, Південне шосе, 80)
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7666-4554> E-mail: maryna.tavrel@mipolytech.education

RESEARCH ON THE IMPACT OF FIELD RUNOFF ON THE OCCURRENCE OF THE EUTROPHICATION PROCESS OF WATER INTAKES

Purpose. The goal of this study is to reveal the mechanism of the impact of changes in the nutrient content of the chemical composition of aquatic habitats on the life activity of cyanobacteria, particularly their development and reproduction in the presence of mineral fertilizers such as nitrogen, phosphorus, and potassium.

Research Pethodology. Experimental methods were used to conduct the research, including laboratory microscopic studies and testing the impact of concentrations of key biogenic elements on the cyanobacteria population in aquatic environments. Observations of the color of solutions and the presence of sediment allowed the determination of the effect of mineral fertilizers on the processes of eutrophication and biological development of aquatic ecosystems.

Results. The article discusses the problem of protecting water intakes from eutrophication caused by runoff of mineral fertilizers from fields. It reveals the mechanism of the impact of nutrient changes in the chemical composition of aquatic habitats on the life activity of cyanobacteria. The research found that the dissolution of complex mineral fertilizers (nitrogen, phosphorus, and potassium) in water at concentrations up to 10 g/L promotes the active development of cyanobacteria, accompanied by the complete binding of mineral additives and intense oxygen consumption. Adding fertilizers in quantities greater than 1 g/L leads to a sharp increase in the growth rate of the cyanobacteria population, triggering conditions for water bloom. Enrichment of the habitat's food base with fertilizers results in explosive growth of the biocenosis and accelerated consumption of dissolved

substances. The average phosphorus absorption rate reached more than 17 g/(Lday), and nitrogen absorption reached 30 g/(Lday). The formation of sediment and foam in experimental vessels was associated with the depletion of nutrients and the death of hydrobionts. This phenomenon may serve as an indicator of reduced oxygen levels in the water. The results of the experiment confirmed the ability of cyanobacteria to intensively convert dissolved nitrogen and phosphorus in water into bound organic forms. This opens up prospects for creating biological methods and means of protecting water intakes from the creation of hazardous environments.

Scientific novelty. For the first time, the interaction mechanism between mineral fertilizers and the processes of cyanobacteria development in aquatic habitats has been analyzed. The obtained data on critical concentrations of nitrogen and phosphorus that contribute to the intense development of cyanobacteria and eutrophication of water sources are important for water resource protection. It was also found for the first time that the addition of fertilizers at concentrations greater than 1 g/L leads to a significant increase in the growth rate of the cyanobacteria population, which can result in water blooming and deterioration of water quality at water intakes.

Practical significance. The results of the study can be used to develop new biological methods and technologies for protecting water intakes from eutrophication processes caused by excessive use of mineral fertilizers in agriculture. The obtained data also allow for more accurate forecasting and control of the impact of anthropogenic load on aquatic ecosystems, which is important for improving water quality, particularly in water supply systems. Developing such methods may be an important step in addressing water supply issues and water resource protection in regions with intensive agricultural production.

Key words: mineral fertilizers, cyanobacteria, biocenosis, artificial habitat, eutrophication.

Viktor Kostenko - Dr, Prof., Head of the Department of Environmental Protection (9, Shevchenka Street, Drohobych, Lviv region, 82100, Ukraine).

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8439-6564> E-mail: vk.kostenko@gmail.com

Maryna Tavrel - Senior lecturer of the Department of Occupational Safety and Environmental Protection of TU «Metinvest Polytechnic», (69008, Ukraine, Zaporizhia region, Zaporizhia city, 80 Southern Highway).

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7666-4554> E-mail: maryna.tavrel@mipolytech.education

УДК 331

[https://doi.org/10.36910/3083-6255/1\(1\).2025.35-44](https://doi.org/10.36910/3083-6255/1(1).2025.35-44)

Т.В. Костенко

ОСОБЛИВОСТІ ТРАВМАТИЗМУ ОСОБОВОГО СКЛАДУ РЯТУВАЛЬНИХ ПІДРОЗДІЛІВ ДСНС УКРАЇНИ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ

Мета. Визначення основних заходів зниження травматизму особового складу ДСНС України на підставі аналізу статистичних даних та причин виникнення нещасних випадків з особовим складом підрозділів ДСНС України.

Методика. Використано комплексний метод досліджень, який містить аналіз літературних джерел, аналіз виробничого травматизму в підрозділах ДСНС.

Результати. Проведено аналіз травматизму в підрозділах ДСНС України за 2023 рік. В порівнянні з аналогічними показниками 2022 року встановлено, що кількість нещасних випадків у 2023 році зменшилась на 7 %, а кількість постраждалих від нещасних випадків на 9 %, кількість осіб, які загинули під час виконання службових обов'язків, зменшилася на 35 %. Проаналізовано розподіл кількості травмованих та загинувших осіб під час виконання завдань за призначенням в підрозділах ДСНС України за видами робіт. Встановлено, що найбільша кількість постраждалих травмувалися під час гасіння пожежі, ведення аварійно-рятувальних робіт. Найбільш поширеними причинами виникнення нещасних випадків у 2023 році були збройна агресія рф, особиста необережність та незадовільний стан виробничого середовища, будинків, споруд території. Проаналізовано особливості ураження особового складу підрозділів ДСНС під час розбору завалів будівельних конструкцій в результаті збройної агресії рф на території України, а також розглянуто запропоновані заходи зниження рівня виробничого травматизму серед особового складу.

Наукова новизна полягає в тому, що набуло подальшого розвитку вивчення особливостей травмування особового складу під час виконання завдань за призначенням та вивчення причин виникнення нещасних випадків, в тому числі в умовах воєнного стану.

Практична значимість. Полягає у можливості використання отриманих результатів аналізу травматизму особового складу для планування заходів щодо зниження травматизму.

Ключові слова: виробничий травматизм, особовий склад ДСНС, нещасні випадки, травматизм, аварійно-рятувальні роботи, безпеки, причини травматизму.

Вступ.

За останнє десятиріччя на території України збільшується кількість пожеж та інших надзвичайних ситуацій, до ліквідації яких залучається особовий склад Державної служби України з надзвичайних ситуацій (ДСНС України). Особливістю діяльності рятувальних підрозділів є те, що всі виконувані роботи пов'язані з небезпекою травмування, ризиком для життя через можливість вибухів і обвалів, обмеження видимості або повної її відсутності, дії екстремальних температур, можливості отримання хімічного ураження тощо. З початком повномасштабного вторгнення рф на територію України кількість надзвичайних ситуацій в деяких регіонах збільшилася в рази. Разом з тим збільшилося й навантаження на підрозділи ДСНС України, особливо в регіонах ведення активних бойових дій та в регіонах, де щільність об'єктів критичної інфраструктури є високою. Щоденні новини інформують населення про нещасні випадки, що сталися з представниками особового складу рятувальних підрозділів,

тому вивчення особливостей травмування в підрозділах ДСНС України з метою розробки заходів попередження виробничого травматизму є актуальним завданням.

Аналіз досліджень та публікацій.

Дослідженням виробничого травматизму в різних галузях промисловості та народного господарства присвячені численні роботи. В роботі [1] детально проаналізовано стан виробничого травматизму на підприємствах нафтопереробної галузі, а також запропоновано основні напрямки удосконалення системи управління охороною праці. Інша робота демонструє методику аналізу та короткострокового прогнозування виробничого травматизму і шляхів його профілактики, що дає змогу виявити очікувану картину явищ і отримати прогнозовані моделі для динаміки показників виробничого травматизму, що є підставою для розробки шляхів профілактики виробничого травматизму [2]. Для умов енергетичної галузі з метою удосконалення системи управління

охороною праці і трудових взаємовідносин в запропоновані заходи щодо зниження рівня травматизму з організаційних причин в стресових умовах масових невиходів персоналу на роботу внаслідок хвороби чи в період воєнних дій [3].

Закордонні публікації науковців також часто присвячуються питанням дослідження виробничого травматизму. У дослідженні [4] вивчався взаємозв'язок між впливом шуму та виробничим травматизмом на заводах у Кореї. Загалом було оцінено 1790 заводів, розташованих у північній провінції Кьонгі, Корея. Зважені за часом середні рівні впливу пилу та шуму були взяті з даних оцінки впливу на робочому місці. Крім виробничих травм, були розглянуті також спортивні заходи, дорожньо-транспортні пригоди та інші нещасні випадки, що сталися поза робочими місцями. Дослідження польських науковців присвячені оцінці ризиків та травматизму пожежних рятувальників [5]. У статті представлено аналіз загроз, з якими стикаються професійні пожежники для оцінки ризиків і створення основи для вжиття відповідних коригувальних і запобіжних дій.

Проаналізовано аварійність у Державній пожежній охороні Польщі з 2015 по 2021 роки, пов'язану із заняттями спортом, у розрізі регіонів країни за рік. Дані зібрані з усієї країни у формі щорічного аналізу аварії. Звіти містили інформацію про: кількість нещасних випадків, причини та обставини нещасного випадку (травмування) з розбивкою індивідуальних та групових нещасних випадків. За період спостереження проаналізовано діяльність близько 30 тис. офіцерів, з них близько 20% несли добове (8-годинне) чергування, 80% – змінне (24-годинне). У період з 2015 по 2021 рік сталося 11 332 нещасних випадків. Загальна аварійність охоплює індивідуальні та масові аварії. Кількість спортивних травм становила 4254 [6]. Зроблено висновок про необхідність комплексного підходу до фізичної підготовки рятувальників. Фізична активність повинна бути безперервною і систематичною для зміцнення всього організму. Більшість спортивних травм, отриманих пожежними, пов'язані з командними видами спорту.

Таким чином, аналіз травматизму в динаміці є необхідним для вивчення причин

та особливостей виникнення нещасних випадків для розробки профілактичних заходів.

Мета статті (постановка завдання).

Враховуючи вищезазначене, метою роботи є визначення основних заходів зниження травматизму особового складу ДСНС України на підставі аналізу статистичних даних та причин виникнення нещасних випадків з особовим складом підрозділів ДСНС України.

Для досягнення мети необхідно виконати наступні задачі:

- визначити основні показники виробничого травматизму та порівняти їх з показниками аналогічного періоду попереднього року;
- дослідити основні причини та умови виникнення нещасних випадків за період, що розглядається;
- визначити основні небезпеки для особового складу, що викликані небезпеками в умовах воєнного стану;
- розглянути заходи зниження травматизму особового складу.

Методи дослідження. Використано комплексний метод досліджень, який містить аналіз літературних джерел, аналіз виробничого травматизму в підрозділах ДСНС.

Виклад основного матеріалу.

За результатами опрацьованих оперативних повідомлень про нещасні випадки, матеріалів розслідування випадків виробничого травматизму за 2023 рік в підрозділах ДСНС було зареєстровано 140 випадків виробничого травматизму [7], з них 35 групових нещасних випадків, в результаті яких травмувалось 202 особи. Протягом звітнього періоду загинуло 26 осіб.

Результати порівняння ідентичних показників травматизму з 2022 роком, в 2023 році загальна кількість нещасних випадків зменшилась на 7,3 %, кількість групових нещасних випадків зменшилась на 10 %, також зменшилась кількість постраждалих від нещасних випадків на 9,2 %, разом із тим зменшилась і кількість осіб, які загинули під час виконання службових обов'язків на 35 % (рис. 1). Аналіз показників травматизму серед особового складу та працівників підрозділів ДСНС під час виконання завдань за призначенням, показує, що вони залишаються стабільно високими.

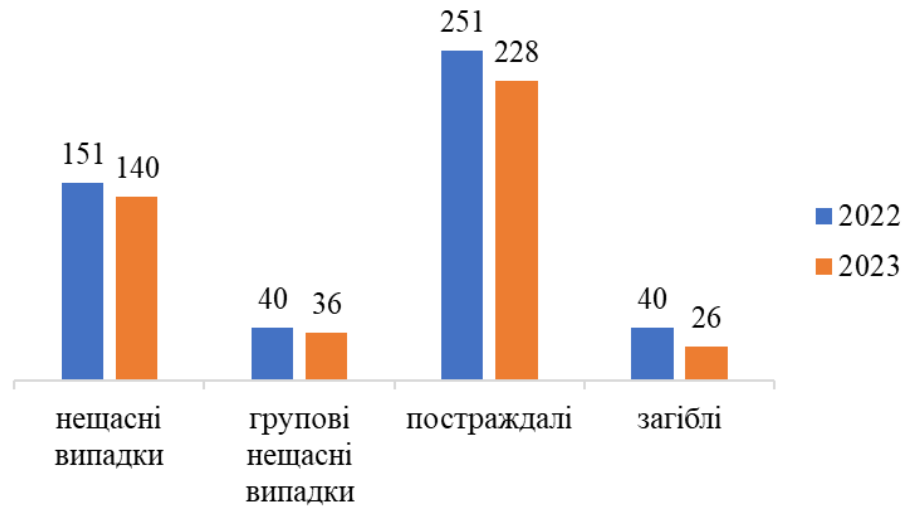


Рис. 1. Порівняння основних показників виробничого травматизму в підрозділах ДСНС України в 2022 та 2023 році

Проаналізувавши кількість нещасних випадків та кількість травмованих осіб (рис. 2), у тому числі осіб які загинули впродовж року можна зауважити, що протягом першого кварталу 2023 року в підрозділах зареєстровано 31 випадок виробничого травматизму, травмувалось 49 осіб із них 8 осіб загинуло. В другому кварталі 2023 року — 49 випадків травматизму, травмувалось 87 осіб із них 10

осіб загинуло. Протягом третього кварталу 2023 року зареєстровано 44 випадки виробничого травматизму в результаті яких зазнали травмування 66 осіб, із них 6 осіб із смертельним наслідком. В четвертому кварталі 2023 року зареєстровано 16 випадків виробничого травматизму, травмувалось 24 осіб із них 2 особи загинуло.

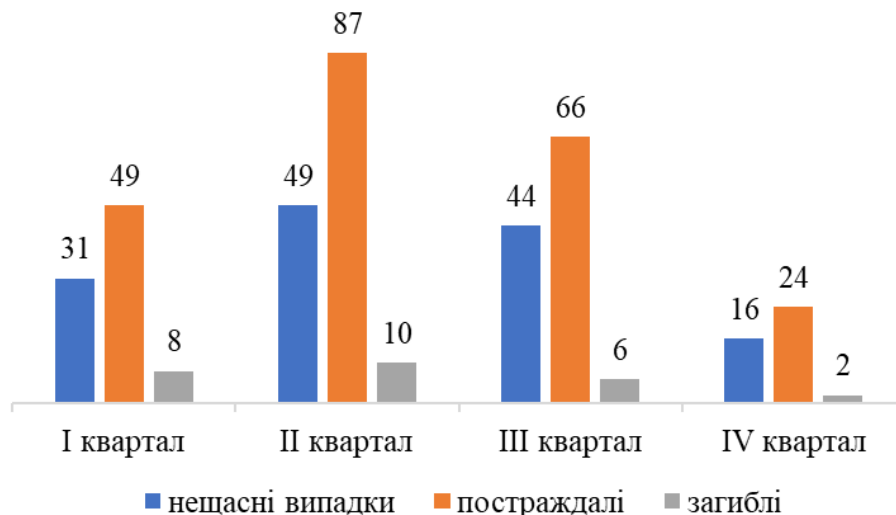


Рис. 2. Кількість нещасних випадків та постраждалих в підрозділах ДСНС України в 2023 році

Збільшення кількості нещасних випадків спостерігається в другому кварталі поточного року, разом із тим збільшилась і чисельність осіб які травмувались та загинули. Переважно це пов'язано з тим, що

особовий склад був травмований під час виконання завдань із гуманітарного розмінування території України та під час ліквідації наслідків збройної агресії РФ в результаті повторних обстрілів. Високі

показники травматизму в третьому кварталі пов'язані із дією високих температур навколишнього середовища, що притаманні цій порі року, та призводять до різного роду термічних уражень (опіки, теплові удари, загальне перегрівання тіла тощо). Дія високих температур оточуючого середовища впливає на зниження швидкості реакції працюючих, зниження концентрації уваги, втому тощо. Це ускладнює умови роботи рятувальників, на яких діє крім високих температур оточуючого середовища, ще й високі температури в осередку пожежі, токсичні газоподібні продукти горіння, низький вміст кисню в повітрі, низька видимість в умовах задимлення тощо. У четвертому кварталі спостерігається зменшення кількості нещасних випадків, разом із тим зменшилась і кількість травмованих осіб та осіб, які загинули.

Травматизм серед особового складу та працівників підрозділів ДСНС має свої

особливості. Як показує практика, значна частина випадків травматизму та випадків загибелі особового складу трапляється під час безпосереднього виконання ними своїх безпосередніх обов'язків. За місцем настання, обставинами, умовами виникнення випадки виробничого травматизму в підрозділах ДСНС розподіляються на такі, що сталися під час гасіння пожежі – 38 випадків, під час несення служби та на робочому місці – 30 випадків, під час розмінування місцевості – 20 випадків, під час службової підготовки та проведення спортивних заходів – 24 випадків, під час евакуаційних заходів та надання гуманітарної допомоги – 6 випадків, під час аварійно-рятувальних робіт – 15 випадків, під час прямування на службу/із служби – 6 випадків, 1 авіакатастрофа. Кількість постраждалих та загиблих під час виконання завдань за призначенням наведено на рисунку 3.



Рис. 3. Розподіл кількості травмованих та загиблих осіб під час виконання завдань за призначенням в підрозділах ДСНС України в 2023 році

Збільшення випадків травмування під час проведення пожежно-рятувальних робіт, робіт з гуманітарного розмінування місцевості та під час виконання завдань за призначенням, викликано необхідністю залучення органів (підрозділів) ДСНС до реагування на надзвичайні ситуації у складних умовах за наявності несприятливих факторів. В умовах військової агресії РФ на території України

гасіння пожеж, проведення аварійно-рятувальних та піротехнічних робіт (гуманітарного розмінування) здійснюються в умовах артилерійських, ракетних обстрілів та бомбових ударів з боку збройних сил російської федерації. Важкість та напруженість роботи зумовлена також значним забрудненням території України вибухонебезпечними предметами, що значно ускладнює виконання завдань за

призначенням, та в подальшому може призвести до травмування особового складу та працівників. Фізичні та нервово-психічні перевантаження, зумовлюють зміни у фізіологічному та психічному станах особового складу, призводять до розвитку втоми та перевтоми, що у свою чергу призводить до порушення координації рухів, неувважності, втрати пильності.

Причини, які призводять до травматизму та загибелі особового складу, можна умовно поділити на об'єктивні та суб'єктивні. До об'єктивних відносяться причини, виникнення яких не залежить від дій особового складу (ракетні та артилерійські обстріли з боку збройних формувань РФ під час виконання особовим складом завдань за призначенням, підлив спеціалізованого автомобільного транспорту на вибухонебезпечних предметах). До суб'єктивних відносяться причини, які виникають внаслідок неправильних дій особового складу, невірної оцінки обстановки, що склалася, хибної впевненості у власних силах, порушення нормативних документів, які стосуються особистої безпеки при виконанні службових обов'язків під час ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій, аварійно-рятувальних роботах, зокрема під час проведення робіт з розмінування місцевості. Особовий склад може робити помилкові дії через стомленість, викликану великими фізичними перевантаженнями, розумовим перевантаженням, перевантаженням аналізаторів (зорового, слухового), монотонністю праці, стресовими ситуаціями, хворобливим станом тощо.

Аналіз результатів розслідувань нещасних випадків у 2023 році (рисунки 4) показує, що найбільше нещасних випадків у звітному періоді сталося через психофізіологічні причини, а саме:

1) протиправні дії інших осіб в ході проведення активної фази бойових (воєнних) дій (бомбардувань, ракетних та артилерійських обстрілів, мінувань територій) – 25 нещасних випадків (17,9%) та як одна із супутніх причин – вибух – 22 нещасних випадки (15,7 %), що в загальному значенні складає 33,6% від загальної кількості травм;

2) особиста необережність осіб рядового і начальницького складу та

працівників – 36 нещасних випадків (25,7% від загальної кількості);

3) інші причини, що призвели до нещасних випадків розподіляються наступним чином:

4) незадовільний стан виробничого середовища, будинків, споруд території – 25 нещасних випадків (17,9 %);

5) дія небезпечних і шкідливих виробничих факторів – 8 нещасних випадків (5,7 %);

6) невиконання вимог інструкцій з охорони праці – 8 нещасних випадків (5,7 %);

7) незадовільні фізичні дані або стан здоров'я – 7 нещасних випадків (5 %);

8) незастосування засобів захисту при їх наявності – 3 нещасних випадки (2,1%);

9) дорожньо-транспортна пригода – 3 нещасні випадки (2,1%);

10) порушення вимог експлуатації машин, механізмів – 1 нещасний випадок (1 %);

11) організаційно-незадовільне функціонування, недостатність або відсутність системи управління охороною праці – 1 нещасний випадок (1%);

12) авіакатастрофа – 1 нещасний випадок (1 %).

У відсотковому відношенні зазначено розподіл нещасних випадків за видами подій з урахуванням обставин, в наслідок яких вони сталися:

1) дія предметів, що розлітаються в результаті вибуху – 36,4% від загальної кількості травм;

2) падіння потерпілих 25,7% від загальної кількості травм, в тому числі під час пересування – 21,4% від загальної кількості травм (30 випадків), з висоти – 4,3% від загальної кількості травм (6 випадків);

3) падіння, обрушення, обвалення предметів, матеріалів, у тому числі падіння дерев (гілок) – 8,6% від загальної кількості травм (12 випадків);

4) інтенсивні рухові дії (біг) – 7,9 % (11 випадків);

5) дія предметів та деталей обладнання, машин і механізмів, що рухаються, розлітаються, обертаються, в тому числі обладнання яке перебуває під тиском – 4,3 % (6 випадків);

6) пожежа – 3,6 % від загальної кількості травм (5 випадків);

- 7) дія низьких та високих температур – 3,6 % (5 випадків);
- 8) дія шкідливих і токсичних речовин — 2,9% (4 випадки);
- 9) дорожньо-транспортна пригода на дорогах (шляхах) загального користування – 2,14% (3 випадки);

- 10) ушкодження внаслідок контакту з тваринами комахами, іншими представниками фауни, а також флори – 2,1 % (3 випадки);

- 11) навмисна травма заподіяна іншою особою – 1,4% (2 випадки).



Рис. 4. Розподіл кількості травмованих та загинув осіб під час виконання завдань за призначенням по групах причин нещасних випадків, що сталися в 2023 році

Виходячи з проведеного аналізу причин і обставин нещасних випадків, які призвели до травмування особового складу та працівників, враховуючи рекомендації комісій з розслідування нещасних випадків, визначено, що причинами, які можуть впливати на рівень збільшення ризику їх виникнення є недостатні знання особовим складом вимог нормативно-правових актів з питань охорони праці, щодо правил безпечного виконання робіт; невиконання особовим складом та працівниками інструкцій з охорони праці; формальний підхід до проведення навчання та інструктажів з охорони праці; невикористання особовим складом засобів індивідуального захисту; послаблення контролю з боку безпосередніх керівників робіт, за дотриманням безпечних правил роботи.

Під час виконання завдань за призначенням на особовий склад ДСНС, крім «традиційних» небезпечних та шкідливих факторів, діють ще й специфічні небезпеки, які викликані збройною агресією рф на території України. За роки повномасштабного вторгнення рф на територію України росіяни зруйнували в

Україні понад 270 000 об'єктів. Найбільше постраждав житлово-комунальний сектор, а також торгівля та промисловість, транспорт, сільське господарство та енергетика. Найбільш зруйнованими регіонами визначені Донецька, Харківська, Луганська, Запорізька, Херсонська та Київська області [8]. Розбирання завалів пошкоджених і зруйнованих унаслідок ракетних обстрілів та бомбардувань будівель і споруд супроводжується із великою кількістю небезпечних та шкідливих чинників для особового складу пожежно-рятувальних підрозділів та добровольців [9].

Трагедія, що сталася 11 вересня 2001 року у США, продемонструвала світові, наскільки небезпечним може бути вдихання диму та будівельного пилу, що утворились унаслідок повного обвалу башт-близнюків та подальших пожеж. Той пил містив у собі крихітні частинки азбесту, скла, цементу, свинцю та інші токсичні речовини. Люди, які вдихали дим під час розбирання завалів, страждали потім на хвороби дихальної системи, зокрема й на онкозахворювання. У багатьох проблеми починалися з хронічного кашлю, який навіть назвали «кашлем Всесвітнього торговельного центру». У

медичному центрі Mount Sinai дослідили стан здоров'я 9,5 тисяч рятувальників та ліквідаторів, які брали участь у ліквідації та розбиранні завалів, і з'ясували, що в майже 70 % з них почалися проблеми з диханням. З цими проблемами більшість постраждалих житиме до кінця життя [10]. За результатами численних досліджень азбест внесли до переліку канцерогенів, вплив яких спричиняє рак. Через серйозну загрозу здоров'ю людини азбест заборонили у понад 70-ти країнах світу ще на початку 2000-х. Угода про асоціацію з ЄС зобов'язує Україну заборонити використання азбесту у виробництві. 6 вересня 2022 року Верховна Рада ухвалила закон № 4142 «Про систему громадського здоров'я», що забороняє використання у будівництві азбесту, виробів та матеріалів з його вмістом. Майже всі будівельні роботи, зокрема роботи з розбирання завалів, які включають або можуть включати порушення цілісності азбесту, визначаються як будівельні роботи з високим ризиком. Коли волокна азбесту з пошкоджених будівельних матеріалів потрапляють всередину організму людини, вони можуть викликати серйозні захворювання, які розвиваються дуже довго й на момент встановлення діагнозу дуже часто буває занадто пізно щось робити. Азбест може викликати смертельні та серйозні захворювання, як мезотеліома, рак легень, азбестоз, потовщення плеври легень.

Іншою небезпечною хімічно-небезпечною речовиною, що міститься у фарбі, старих водопровідних трубах та іншій сантехнічній арматурі, листовому свинцю, припоях, свинцевому пробіску, свинцевих світлових вікнах та склі, є свинець. Під час розбирання завалів будівельних конструкцій можливе вдихання особовим складом пилу кристалічного кремнезему, що може спричинити серйозне захворювання дихальних шляхів із можливим летальним наслідком. Вироби з бетону та кладка містять кремнеземний пісок і гірські породи, що містять кремнезем [10].

Враховуючи те, що роботи з розбору завалів будівельних конструкцій після ракетних та артилерійських обстрілів рф, як правило, проводяться оперативно із залученням добровольців, єдиним методом захисту здоров'я учасників процесу є використання засобів індивідуального

захисту. Важливим елементом мінімізації наслідків впливу небезпечних та шкідливих чинників є облаштування пункту для дезактивації обладнання, засобів захисту, інструментів тощо. З метою запобігання виникнення у особового складу пожежно-рятувальних підрозділів та добровольців пневмоконіозів та інших захворювань дихальної системи під час розбирання завалів будівельних конструкцій, що утворились внаслідок руйнування будинків та містять канцерогени, полягають у недопущенні потрапляння пилу в повітря. Доцільно в таких випадках застосовувати розпилення води для прибирання пилу.

Одним із важливих етапів контролю за станом охорони праці є атестація робочих місць. Цей процес дозволяє оцінити та забезпечити відповідність умов праці нормативам, знизити ризики та покращити безпеку в органах та підрозділах ДСНС. Загалом право на пільги та компенсації за шкідливі умови праці, підтверджено 1121 працівнику. За результатами проведеної атестації робочих місць, для реалізації права працівників на соціальний захист за роботу в несприятливих умовах праці встановлено: доплату до тарифної ставки (посадового окладу) – 471 особі; право на щорічну додаткову відпустку – 1005 осіб; право на скорочену тривалість робочого тижня – 144 осіб; видача молока або рівноцінних харчових продуктів – 121 особі.

Обговорення результатів.

Серед запропонованих заходів зниження рівня виробничого травматизму серед особового складу підрозділів ДСНС є:

1) інформування особового складу про стан виробничого травматизму;

2) посилення контролю з боку керівного складу підрозділів ДСНС за виконанням норм та правил охорони праці особовим складом під час несення служби та виконання службових обов'язків;

3) планування та впровадження регулярних аудитів безпеки, систематичних обстежень робочих місць і обладнання для виявлення потенційних небезпек та вжиття запобіжних заходів в підрозділах;

4) дотримання термінів проведення навчань та інструктажів з охорони праці особового складу та працівників органів та підрозділів ДСНС, проведення їх якісно у повній відповідності до вимог чинних нормативно-правових актів;

5) у разі порушення особовим складом вимог нормативно-правових актів та інструкцій з охорони праці, незастосування ними засобів захисту, недотримання вимог з експлуатації машин, механізмів, обладнання, вживати заходи щодо притягнення їх до дисциплінарної відповідальності;

6) організація роботи та проведення атестації робочих місць за умовами праці, з метою визначення впливу робочого середовища на працівників та реалізації їх прав на соціальний захист.

Висновок.

Було проведено аналіз травматизму в підрозділах ДСНС України за 2023 рік, а також порівняно отримані показники з аналогічними показниками 2022 року. Встановлено, що кількість нещасних випадків у 2023 році зменшилась на 7 %, а кількість постраждалих від нещасних випадків на 9 %, кількість осіб, які загинули під час виконання службових обов'язків, зменшилась на 35 %.

Список літератури

1. Кружилко О. Є., Майстренко В. В., Лях Ю. М., Полукаров О. І., Демчук Г. В. (2019). Дослідження виробничого травматизму на підприємствах нафтогазовидобувної промисловості України. Енергозбереження та промислова безпека: виклики та перспективи: науково-технічний збірник: матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції (4–5 червня 2019 року, м. Київ). – Київ : Основа, 2019. – С. 269–276.

2. Костенко О. М., Лапенко Т. Г., Опара Н. М., Дудник В. В., Шпилька М. М., Дрожжана О. У. (2021). Методика статистичного аналізу, короткострокового прогнозування травматизму та шляхів його профілактики в агроінженерії. Вісник Полтавської державної аграрної академії, №2. С. 273–279. doi: 10.31210/visnyk2021.02.36

3. Кузьменко О. О., Мезенцева І. О., Вамболь С. О., Мезенцев С. М. (2024). Зниження виробничого травматизму як шлях вирішення проблеми дефіциту кадрів і зменшення ризиків в енергетиці. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність, вип. 1 (8), С. 55–63. doi:10.20998/2224-0349.2024.01.04.

4. Yoon J., Hong J., Roh J., Kim C., Won J. (2015). Dose - response relationship between noise exposure and the risk of occupational injury. *Noise and Health*, Vol. 17, no. 74, Pp. 43–47. <https://doi.org/10.4103/1463-1741.149578>

Проаналізовано розподіл кількості травмованих та загиблих осіб під час виконання завдань за призначенням в підрозділах ДСНС України за видами робіт. Встановлено, що найбільша кількість постраждалих травмувалися під час гасіння пожежі, ведення аварійно-рятувальних робіт. Найбільш поширеними причинами виникнення нещасних випадків у 2023 році були збройна агресія рф, особиста необережність та незадовільний стан виробничого середовища, будинків, споруд території.

Було також проаналізовано особливості ураження особового складу підрозділів ДСНС під час розбору завалів будівельних конструкцій в результаті збройної агресії рф на території України, а також розглянуто запропоновані заходи зниження рівня виробничого травматизму серед особового складу.

5. Wejman, M, and Przybylski, K. (2013). Identyfikacja zagrożeń na stanowiskach pracy strażaków zawodowych. *Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej Organizacja i Zarządzanie*. 59:69–84.

6. Dudziński Ł, Panczyk M, Kubiak T and Milczarczyk T (2023). Sports-related injuries sustained by officers of the State Fire Service on duty – nationwide 7-year follow-up. *Front. Public Health*. 11:1204841. doi: 10.3389/fpubh.2023.1204841.

7. Аналіз стану виробничого травматизму серед осіб рядового і начальницького складу служби цивільного захисту та працівників Головних управлінь ДСНС України в областях та м. Києві, підрозділів центрального підпорядкування, підприємств, установ, організацій сфери управління ДСНС та закладах вищої освіти із специфічними умовами навчання за 2023 рік

8. Костенко Т. (2024). Небезпечні та шкідливі чинники, що впливають на особовий склад пожежно-рятувальних підрозділів під час ліквідації наслідків ворожих обстрілів. Надзвичайні ситуації: безпека та захист: Матеріали XIV Всеукраїнської науковопрактичної конференції з міжнародною участю. – Черкаси: ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2024. С. 212–213.

9. Руйнування в цифрах: скільки Росія знищила об'єктів та скільки виділили на відбудову. Режим доступу: <https://www.liga.net/ua/infographic-of-the->

day/articles/ruinuvannia-v-tsyfrakh-skilky-rosiia-znyshchyla-obiektiv-ta-skilky-vydilyly-na-vidbudovu

10. Безпека і здоров'я на роботі у воєнний та післявоєнний час. Досвід України в умовах російської агресії. Режим доступу - https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---europe/---ro-geneva/---sro-budapest/documents/genericdocument/wcms_856143.pdf

References

1. Kruzhylo O. YE., Maystrenko V. V., Lyakh YU. M., Polukarov O. I., Demchuk H. V. (2019). Research on industrial injuries at enterprises of the oil and gas industry of Ukraine. Energy saving and industrial safety: challenges and prospects: scientific and technical collection: materials of the II International Scientific and Practical Conference (June 4–5, 2019, Kyiv). – Kyiv: Osnova, 2019. – P. 269–276.
2. Kostenko O. M., Lapenko T. H., Opara N. M., Dudnyk V. V., Shpyl'ka M. M., Drozhchana O. U. (2021). Methodology of statistical analysis, short-term prediction of injuries and ways of its prevention in agricultural engineering. Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy, No. 2. P.273–279. doi: 10.31210/visnyk2021.02.36
3. Kuz'menko O. O., Mezentsseva I. O., Vambol' S. O., Mezentsev S. M. (2024). Reducing industrial injuries as a way to solve the problem of personnel shortage and reduce risks in the energy sector. Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Energy: reliability and energy efficiency, issue 1 (8), pp. 55–63. doi:10.20998/2224-0349.2024.01.04.
4. Yoon J., Hong J., Roh J., Kim C., Won J. (2015). Dose - response relationship between noise exposure and the risk of occupational injury. Noise and Health, Vol. 17, no. 74, Pp. 43–47. <https://doi.org/10.4103/1463-1741.149578>
5. Wejman, M., and Przybylski, K. (2013). Identification of hazards at work stations of professional firefighters. Scientific Papers of Poznań University of Technology Organization and Management. 59:69–84.
6. Sports-related injuries sustained by officers of the State Fire Service on duty – nationwide 7-year follow-up. Front. Public Health. 11:1204841. doi: 10.3389/fpubh.2023.1204841. doi: 10.3389/fpubh.2023.1204841.
7. Analysis of the state of occupational injuries among ordinary and managerial personnel of the civil defense service and employees of the Main Departments of the State Emergency Service of Ukraine in the regions and the city of Kyiv, units of central subordination, enterprises, institutions, organizations of the State Emergency Service management sphere and higher education institutions with specific training conditions for 2023.
8. Kostenko T. (2024). Dangerous and harmful factors affecting the personnel of fire and rescue units during the elimination of the consequences of enemy shelling. Emergency situations: safety and protection: Materials of the XIV All-Ukrainian scientific and practical conference with international participation. – Cherkasy: CHIPB named after. Heroes of Chernobyl NUCZ of Ukraine, 2024. P. 212–213.
9. Destruction in numbers: how many sites Russia destroyed and how much was allocated for reconstruction. Access mode: <https://www.liga.net/ua/infographic-of-the-day/articles/ruinuvannia-v-tsyfrakh-skilky-rosiia-znyshchyla-obiektiv-ta-skilky-vydilyly-na-vidbudovu>
10. Safety and health at work in wartime and post-war times. Ukraine's experience in conditions of russian aggression. Access mode: https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---europe/---ro-geneva/---sro-budapest/documents/genericdocument/wcms_856143.pdf

Костенко Тетяна Вікторівна – д-р техн. наук, професор кафедри пожежної і техногенної безпеки об'єктів та технологій, Національний університет цивільного захисту України (вул. Онопрієнка, 8, м. Черкаси, 18034, Україна). ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9426-8320>
E-mail: tatiana.kostenko@gmail.com

FEATURES OF INJURIES AMONG PERSONNEL OF RESCUE UNITS OF THE STATE EMERGENCY SERVICE OF UKRAINE IN WAR CONDITIONS

Purpose. Determination of the main measures to reduce injuries to personnel of the State Emergency Service of Ukraine based on the analysis of statistical data and the causes of accidents involving personnel of the State Emergency Service of Ukraine units.

Methodology. A comprehensive research method was used, which includes an analysis of literary sources, an analysis of occupational injuries in the units of the State Emergency Service.

Results. An analysis of injuries in the units of the State Emergency Service of Ukraine for 2023 was conducted. Compared to similar indicators in 2022, it was found that the number of accidents in 2023 decreased by 7%, and the number of victims of accidents by 9%, the number of people who died while performing their

official duties decreased by 35%. The distribution of the number of injured and deceased persons while performing assigned tasks in the units of the State Emergency Service of Ukraine by type of work was analyzed. It was found that the largest number of victims were injured during firefighting and emergency rescue operations. The most common causes of accidents in 2023 were armed aggression by the Russian Federation, personal carelessness, and the unsatisfactory condition of the production environment, buildings, and structures in the territory. The peculiarities of injuries to personnel of the State Emergency Service units during the dismantling of rubble from building structures as a result of the armed aggression of the Russian Federation on the territory of Ukraine were analyzed, and the proposed measures to reduce the level of occupational injuries among personnel were also considered.

Scientific novelty of the results obtained lies in the fact that the study of the characteristics of personnel injuries during the performance of assigned tasks and the study of the causes of accidents, including under martial law, have been further developed.

Practical significance consists in the possibility of using the obtained results of personnel injury analysis for planning measures to reduce injury.

Keywords: occupational injury, personnel of the State Emergency Service, accidents, traumatism, emergency rescue operations, dangers, causes of injuries.

Tetiana Kostenko – Doctor of technical sciences, professor, professor of the department of fire and technogenic safety of facilities and technologies of National university of civil defense of Ukraine, (Onopriyenka St., 8, Cherkasy, 18034, Ukraine). ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9426-8320>
E-mail: tatiana.kostenko@gmail.com

УДК 001.891:331.45(477)

[https://doi.org/10.36910/3083-6255/1\(1\).2025.45-58](https://doi.org/10.36910/3083-6255/1(1).2025.45-58)

В.М. Лобойченко
В.І. Федорчук-Мороз
О.С. Шевченко

ЗАГАЛЬНИЙ БІБЛІОМЕТРИЧНИЙ АНАЛІЗ НАУКОВИХ ПУБЛІКАЦІЙ З ПИТАНЬ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ ТА ОХОРОНИ ПРАЦІ В УКРАЇНІ

Мета. Провести бібліометричний аналіз наукових публікацій з цивільного захисту та охорони праці в Україні для з'ясування загального стану питання та виявлення тенденцій розвитку.

Методика. Як інструментарій дослідження використано спеціалізоване програмне забезпечення VOSviewer з застосуванням пошуку за ключовими словами в наукометричній базі Scopus.

Результати. За результатами першого етапу дослідження визначено динаміку змін кількості публікацій протягом 1952-2025 р.р., основні країни авторів, що висвітлюють зазначену проблему, визначено авторів за кількістю публікацій та заклади, що мають найбільші показники публікацій. На другому етапі візуалізовано зв'язки між взаємною присутністю ключових слів, їх зустрічальністю в часі та густиною зустрічальності, а також проаналізовано розподіл співавторів за країнами, надалі виявлено основні тенденції розвитку досліджуваного напрямку.

Новизна. Полягає в тому, що вперше проведено загальний бібліометричний аналіз наукових публікацій у сфері цивільного захисту та охорони праці в середовищі VOSviewer та виокремлено 4 кластери за взаємною зустрічальністю ключових слів та 4 кластери за країнами авторів публікацій. Показано подальший розвиток проблематики у сфері цивільного захисту та охорони праці, що включає відхід від дослідження радіаційних впливів, пов'язаних з наслідками чорнобильської катастрофи, та активізацію досліджень гуманітарної кризи, пандемії, біженців, ментального та фізичного здоров'я людини, наслідків війни, сталого розвитку та інтенсифікацію взаємовідносин з європейськими науковцями.

Практична значимість. Отримані результати надають комплексну оцінку стану питання в досліджених наукових публікаціях та в аргументованому виокремленні напрямків подальших досліджень. В свою чергу, отримана інформація дозволить приймати фахівцям зв'язані рішення та ефективно розподіляти ресурси при проведенні досліджень у сфері охорони праці та цивільного захисту.

Ключові слова: бібліометричний аналіз, цивільний захист, охорона праці, надзвичайна ситуація, наукометрична база Scopus, програмне забезпечення VOSviewer, візуалізація даних.

Вступ.

Питання цивільного захисту та охорони праці є важливою складовою державної політики та національної безпеки кожної держави. В Україні ці питання визначені в низці законодавчих документів, таких як Конституція України, Кодекс цивільного захисту, Закон України «Про охорону праці» тощо. В той же час дослідження та розвиток засад цивільного захисту та охорони праці є предметом серйозних наукових вишукувань, які надалі знаходять впровадження в законодавчій, практичній та теоретичній сферах. В умовах значної кількості інформаційних потоків та ресурсів важливим елементом подальшого розвитку будь-якого напрямку є розуміння загального стану питання та визначення сучасних тенденцій, зокрема, в сфері цивільного захисту та охорони праці.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

На сьогодні відмічається значний масив наукових даних з різноманітних

напрямків цивільного захисту та охорони праці. Ці питання в науковій літературі можуть висвітлюватись з різних напрямків. Зокрема, визначаються теоретичні засади парадигми «цивільний захист» [1], особливості його створення та функціонування [2], державного управління цивільним захистом [3]. Розглядаються практичні питання з розробки методик та методів запобігання, попередження чи ліквідації надзвичайних ситуацій [4, 5, 6, 7], вирішення питань охорони та безпеки праці на виробництві [8], вплив зовнішніх чинників [9, 10, 11], вплив на довкілля [12] тощо.

Військовий конфлікт спричинив розвиток ще одного напрямку досліджень в сферах цивільного захисту [13, 14, 15] та охорони праці [16, 17, 18], що пов'язані із впливом агресора та війною.

Як складова надзвичайних ситуацій, вплив Covid-19 та інших хвороб на стан здоров'я працівників і населення також знайшов своє відображення в науковій

літературі з питань цивільного захисту та охорони праці [19, 20, 21].

Розвиток різноманітних наукометричних баз, таких як Scopus, Web of Science, PubMed та ін., зростання кількості наукових журналів, збільшення публікацій зумовлюють появу значної кількості інформації та матеріалів, що ускладнює роботу науковців щодо систематизації даних та виокремлення тенденцій та невирішених питань в окремих сферах. Це зумовило розвиток напрямку бібліографічного аналізу, коли дослідження безпосередньо стосується аналізу літератури – наукових публікацій щодо досліджуваного питання.

Відмічається бібліометричний аналіз авторами короточасних незрозумілих подій та небезпечних для життя подій [22], евакуаційного освітлення місця катастрофи [23], ролі соціальних медіа та платформ при природних надзвичайних ситуаціях, коли не працюють мобільні засоби зв'язку [24], визначення безпеки та стійкості систем та співтовариств при сучасному рівні техніки [25]. Проводиться аналіз наукових публікацій, пов'язаних з надзвичайними подіями та ситуаціями в медичній сфері – післяопераційних розладів поведінки пацієнтів [26], безпеки та гігієни праці в сільськогосподарській сфері [27], взаємозв'язку між створенням робочих місць і факторами здорових організацій [28].

В українському просторі також можна відмітити наукові роботи, що стосуються бібліографічних аналізів, наприклад, в сфері цифровізації суспільства та освіти [29], поводження з промисловими відходами [30], з проблем економічної злочинності [31]. В той же час, в літературі відсутні відомості з бібліографічного аналізу наукових публікацій з питань цивільного захисту та охорони праці, що вказує на необхідність вирішення цієї проблеми.

Мета статті (постановка завдання).

Враховуючи вищезазначене, метою роботи є проведення бібліометричного аналізу наукових публікацій з цивільного захисту та охорони праці в Україні для з'ясування загального стану питання та виявлення тенденцій розвитку. Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні завдання:

– провести первинний аналіз стану наукових публікацій за визначеними

ключовими словами в наукометричній базі Scopus;

– провести подальший аналіз стану наукових публікацій за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення VOSviewer;

– виокремити загальні тенденції розвитку напрямку цивільного захисту та охорони праці.

Методи дослідження.

Дослідження та первинний аналіз проводився за допомогою наукометричної бази Scopus, за визначеними ключовими словами. Надалі в роботі використано спеціалізований інструментарій VOSviewer для виконання розгорнутого бібліометричного аналізу.

Виклад основного матеріалу.

З метою поширення знань та популяризації наукових досліджень їх результати публікуються в науковій літературі (книги, журнали, матеріали конференцій та ін.). Остання, в свою чергу, індексується різноманітними науковими базами. Найбільш вагомими на сьогодні вважаються Scopus, Web of Science, PubMed. Вони належать різним видавництвам чи компаніям, постійно оновлюються, до них додаються нові інструменти і кожна з них фактично є окремою екосистемою. Багато наукових матеріалів індексуються цими трьома базами одночасно, але можливі й інші варіанти.

У роботі джерелом наукових публікацій обрано наукометричну базу Scopus [32], як ключові слова обрано «Ukraine», «emergency», «civil defence», «labor protection», пошук проводився за назвою статті, рефератом, ключовими словами. Отримана вибірка із 1506 публікацій надалі аналізувалась за розподілом публікацій (documents) за роком, країною, автором та місцем роботи авторів. Отримані результати представлені, відповідно, на рис. 1 та 2, в таблицях 1 та 2.

Для подальшого аналізу бібліографічних даних, отриманих з бази даних Scopus, використано інструментарій VOSviewer (версія 1.6.20) [33, 34]. VOSviewer представляє собою відкрите програмне забезпечення для бібліометричного аналізу літератури, виявлення спільної зустрічальності (co-occurrence), співавторства (co-authorship), співцитовання (co-citation) та побудови

відповідних мап для візуалізації отриманих результатів. В роботі в режимі co-occurrence було побудовано для усіх ключових слів, що зустрічаються не менше 10 разів, низку мап, що представлені, відповідно, на рис. 3, 4, 5.

При візуалізації розмір позначки із словом визначає частоту зустрічальності (її «вагу»).

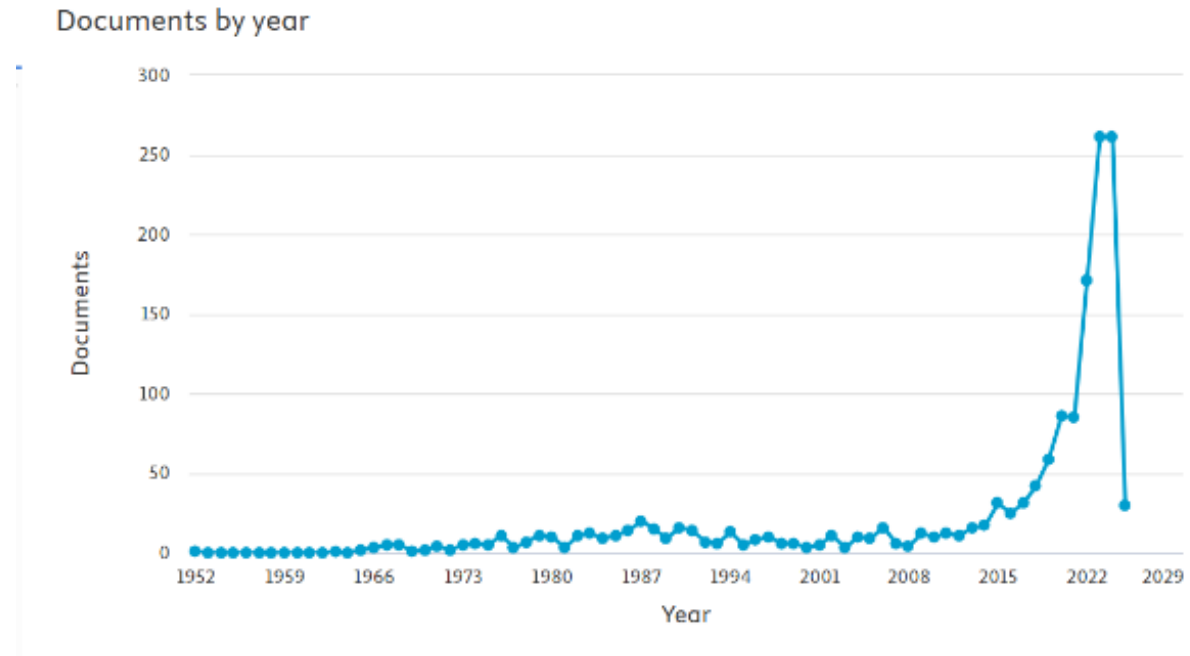


Рис. 1. Залежність кількості публікацій з досліджуваного питання від року видання.

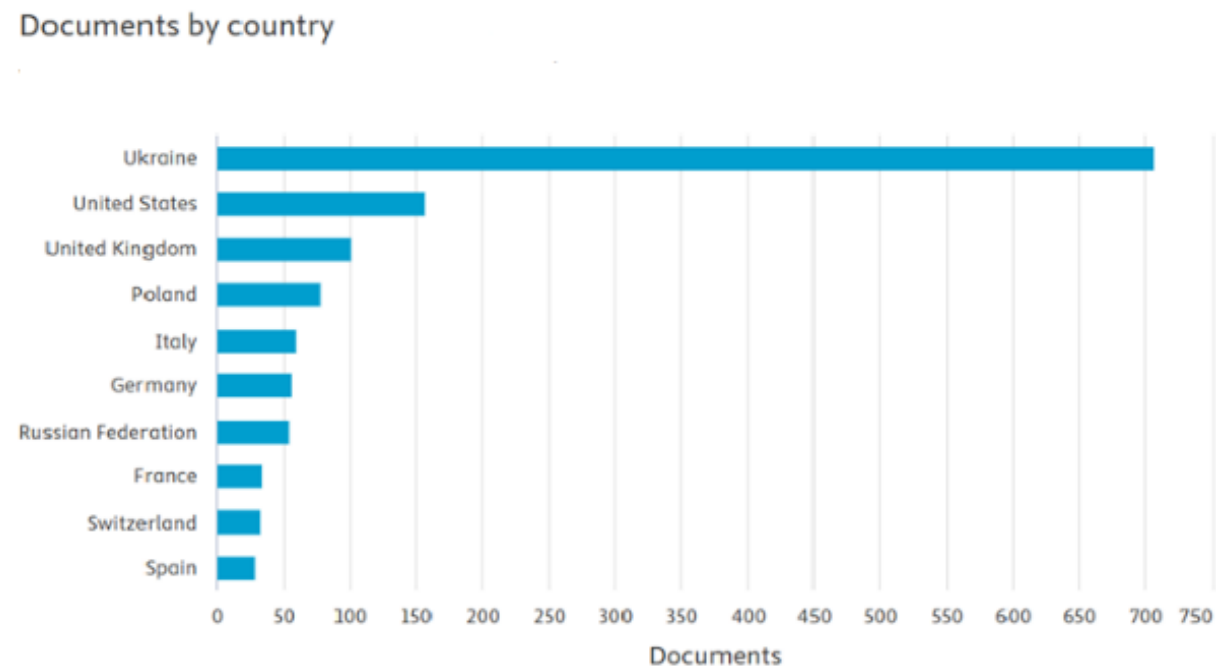


Рис. 2. Залежність кількості публікацій з досліджуваного питання від країни.

Таблиця 1.

Топ-10 авторів з найбільшою кількістю публікацій

	Прізвище автора	Кількість публікацій
1.	Makhachashvili R.	13
2.	Semenist I.	13
3.	Bazyka D.A.	12
4.	Kurdil N.V.	9
5.	Chumak A.A.	8
6.	Ivanov V.K.	8
7.	Loganovsky K.M.	8
8.	Chumachenko D.	7
9.	Gresko M.V.	7
10.	Guryev S.O.	7

Таблиця 2.

Топ-10 місць роботи авторів

№	Назва закладу	Кількість публікацій
1.	National Academy of Medical Sciences of Ukraine	101
2.	National Academy of Sciences of Ukraine	81
3.	Ministry of Health of Ukraine	41
4.	Taras Shevchenko National University of Kyiv	37
5.	Bogomolets National Medical University	34
6.	Shupyk National Healthcare University of Ukraine	32
7.	National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”	23
8.	Ukrainian Military Medical Academy	22
9.	Organisation Mondiale de la Santé	18
10.	National University of Civil Defence of Ukraine	18

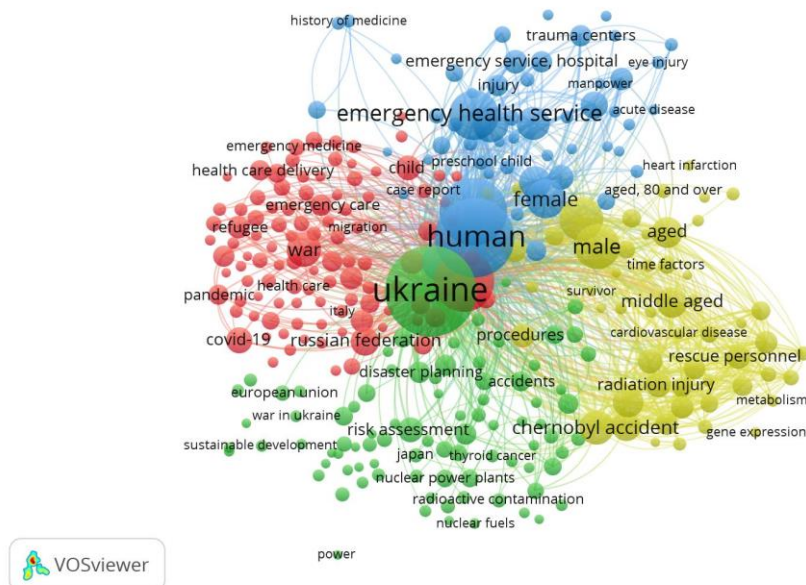
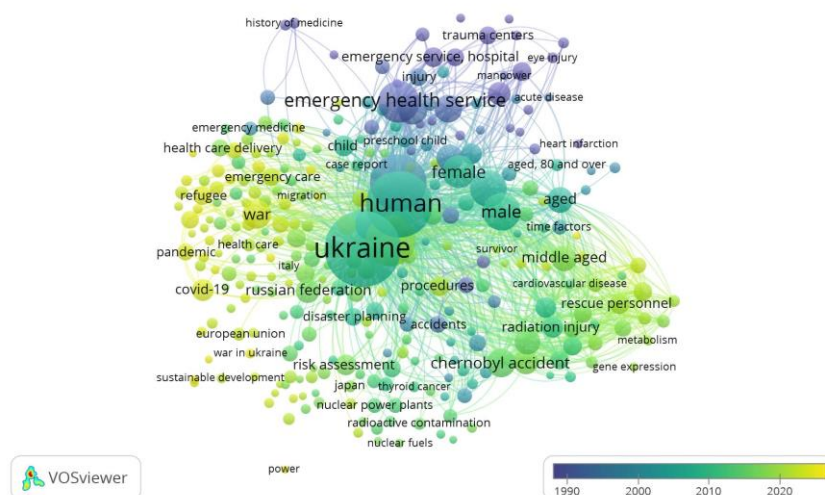
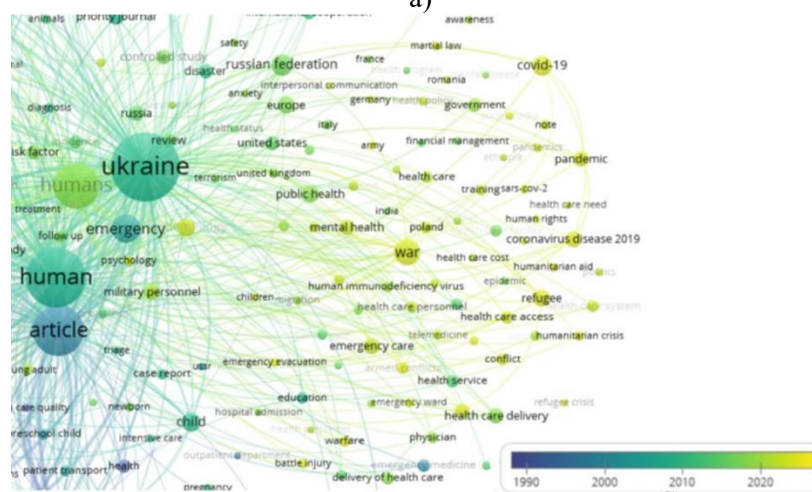


Рис. 3. Мапа візуалізації мережі ключових слів, з розподілом за кластерами.



а)



б)

Рис. 4. Мапа спільного використання ключових слів по роках:
а) загальний вигляд; б) збільшений вигляд публікацій за останні роки.

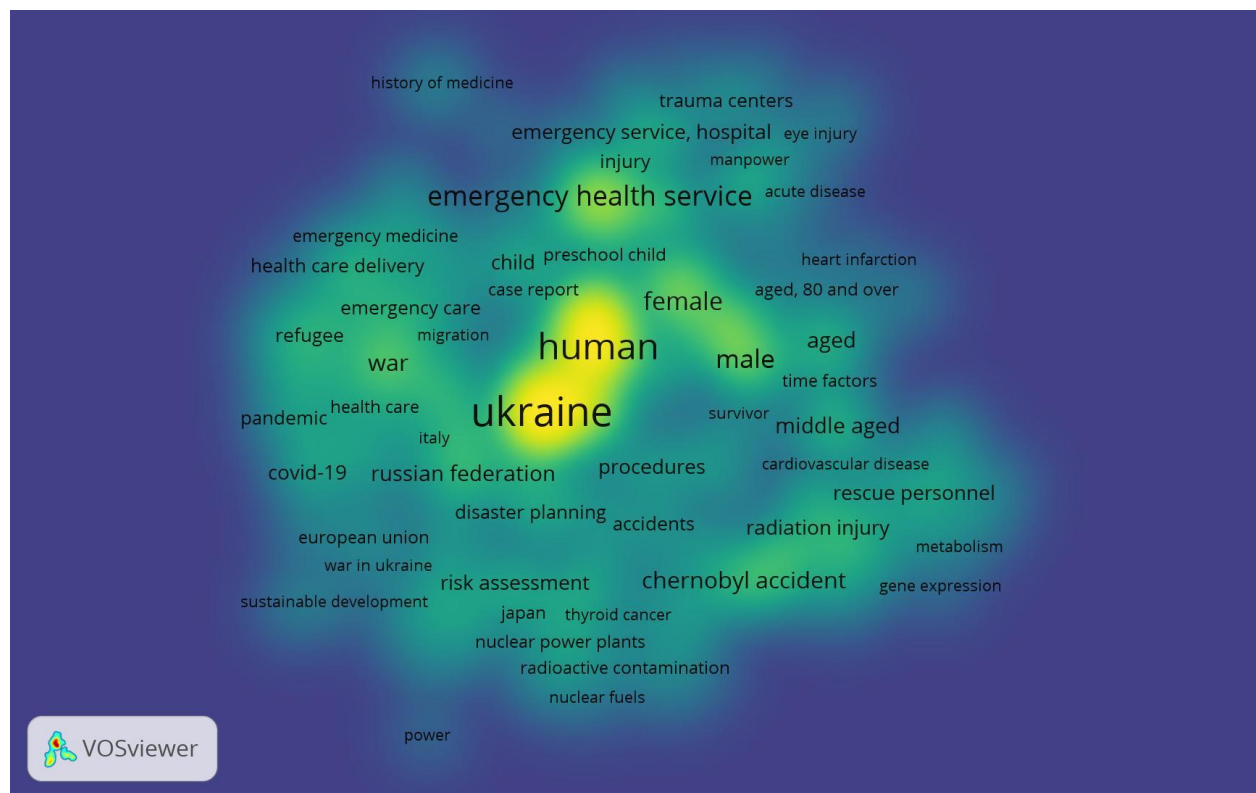


Рис. 5. Мапа щільності використання ключових слів в публікаціях.

Також було проведено додатковий аналіз co-authorship та отримано розподіл публікацій за країнами (рис 6) та їх зміни в часі (рис. 7). Мінімум документів на країну дорівнює 5.

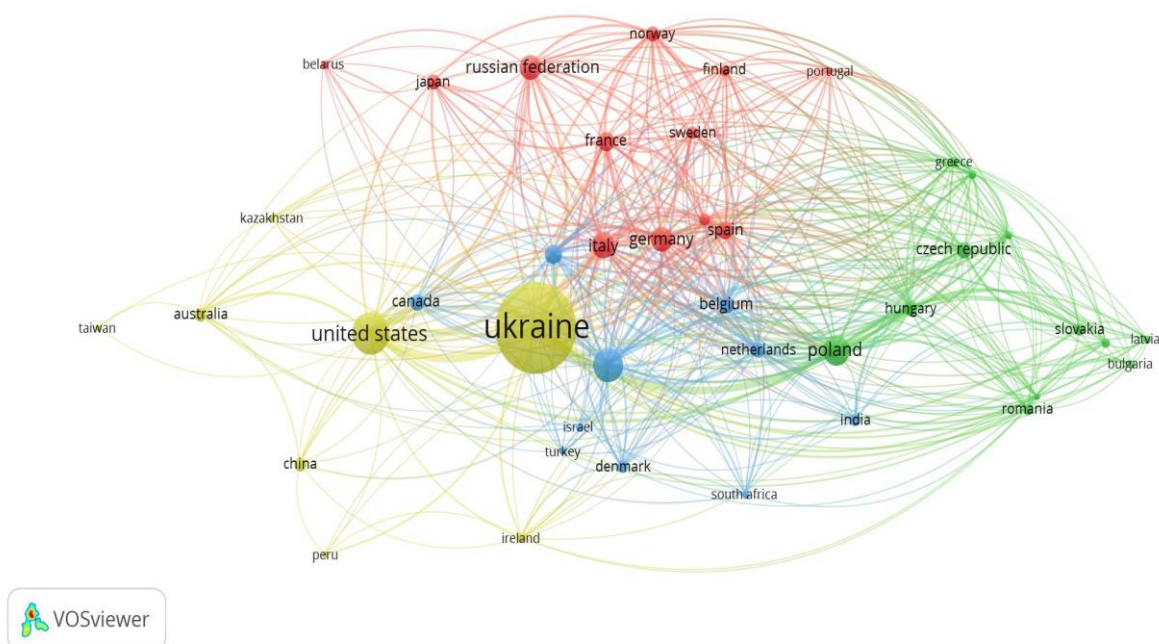


Рис. 6. Мапа візуалізації мережі співавторів за їх країнами, з розподілом за кластерами.

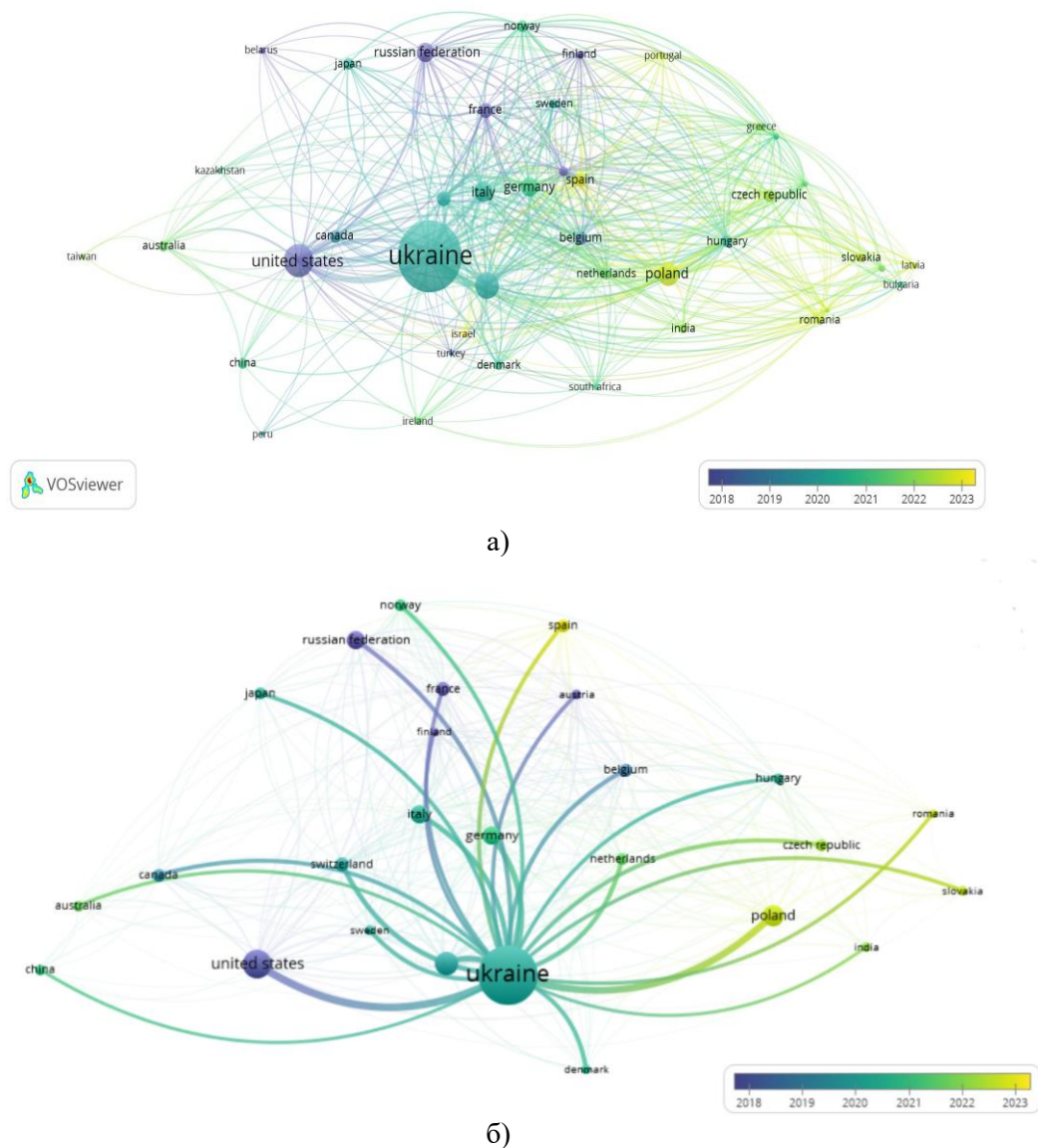


Рис. 7. Мапа співавторства за країнами по роках:
а)загалом; б) виокремлені зв'язки з Україною.

Обговорення результатів.

В рамках вирішення першого завдання отримано, що загальні питання цивільного захисту та охорони праці в Україні представлені в наукометричній базі Scopus 1,5 тис. наукових публікацій (статті, книги, матеріали конференцій тощо). Як видно (рис. 1), з 2015 р. відбулося зростання кількості публікацій, що, ймовірно, пов'язане із російською агресією 2014 р., й підвищенням як ролі цивільного захисту в українському суспільстві, так і зростанням інтересу світової спільноти до цієї проблеми. Війна

2022 р. спричинила другий стрибок публікацій в цьому напрямку.

За країною походження майже 34% авторів публікацій відносяться до України, 7,5% – до США, трохи менше 4% – до Великобританії, також питання цивільного захисту та охорони праці, пов'язані з Україною, висвітлюються авторами з інших країн Європейського Союзу (рис. 2).

Автори з найбільшим числом публікацій (табл. 1) – Махачашвілі та Семеніст часто є співавторами, їх роботи присвячені можливостям використання цифрового простору для навчання, в тому

числі, й за умов надзвичайних ситуацій [35, 36], тоді як роботи Базики присвячені наслідками аварій на ЧАЕС та їх впливу на різні групи населення [37, 38]. Хоча два перші автори афільовані з Київським столичним університетом імені Бориса Грінченка (Borys Grinchenko Kyiv (Metropolitan) University), найбільша кількість публікацій пов'язана з Національною академією медичних наук України, до якої належить третій за кількістю публікацій – Д. Базика.

Наступний етап досліджень, проведений в середовищі VOSviewer, показав розподіл всіх пов'язаних ключових слів за 4-ма кластерами (рис. 3): 1-й, найбільший, кластер (110 слів, червоний колір), пов'язаний з загальними питаннями людського здоров'я, війною, біженцями, пандемією COVID-19, радіаційною небезпекою; 2-й кластер – (87 слів, зелений колір) включає загальні дослідження ядерної енергії, інцидентів, управління надзвичайними ситуаціями, екологічну безпеку, хвороби; 3-й кластер – (55 слів, синій колір) містить безпеку праці та медичне обслуговування, терапію, операцію, транспорт пацієнтів; 4-й кластер – (53 слова, жовтий колір) охоплює питання, пов'язані з чорнобильською катастрофою, радіаційними дозами, випромінюванням тощо.

Якщо відстежувати зміни пріоритетності досліджень (рис. 4а, 4б)), то можна побачити, що питання 3 кластеру були актуальними в 1990-х роках, далі акцент змінився на питання 2-го та 4-го кластерів, коли значним чином почали проявлятися наслідки аварії на ЧАЕС. Сучасна ситуація з військовою агресією РФ та наслідками пандемії COVID-19 виступають найбільш актуальними питаннями в охороні праці та цивільній безпеці України. Висвітлення цих ключових моментів показано на рис. 5, де жовтим кольором відмічено найбільш вживані в публікаціях ключові слова.

Додатковий аналіз авторів публікацій за країнами походження дозволив також виділити 4 кластери (рис. 6). До першого (червоний колір) відносяться Австрія, Франція, Фінляндія, Німеччина, РФ, Італія, Фінляндія, Японія, Норвегія. Другий кластер (зелений колір) включає Україну, Швейцарію, Швецію, Великобританію, Канаду, Австралію, Китай та США. Третій кластер (синій колір) містить Польщу,

Чеську Республіку, Індію, Словаччину, Румунію, Угорщину. До останнього, четвертого кластеру (жовтий колір) належать Нідерланди, Бельгія та Данія.

Подальше дослідження розподілу публікацій за роками (рис. 7а, 7б) показало нарощування співавторства українських вчених з європейськими дослідниками (Польща, Іспанія, Чеська Республіка, Словаччина, Румунія).

Загальний аналіз отриманих даних показав зростання значущості цивільного захисту та охорони праці в українському та міжнародному науковому середовищі, особливо з початку військового конфлікту 2022 р. Розподіл на кластери ключових слів та їх динаміка змін в публікаціях в часі вказує на тенденцію пошуку шляхів розв'язання гуманітарної кризи, пандемії, проблем громадського та ментального здоров'я населення, проблем біженців, наслідків військової агресії РФ, в умовах сталого розвитку та взаємодії з країнами Європи. При цьому питання радіаційних впливів, досліджень наслідків ЧАЕС відходять на другий план. Відмічається також збільшення наукових зв'язків українських дослідників з науковцями країн Європейського Союзу. Для детального виявлення взаємозв'язків між окремими напрямками сфери цивільного захисту та охорони праці необхідне подальше, більш глибоке, бібліометричне дослідження, з використанням інших наукометричних баз даних, додаткових ключових слів та додаткових підходів, що включають роботу з великими масивами даних та використання спеціалізованого програмного забезпечення.

Висновок.

Таким чином, в роботі проведено загальний бібліометричний аналіз наукових публікацій сфери цивільного захисту та охорони праці в Україні, що індексуються наукометричною базою Scopus. Відмічено двоетапне зростання кількості публікацій після 2014 р та після 2022 р, що, ймовірно, пов'язано, з військовою агресією РФ. Аналіз 1506 публікацій відмітив превалюючу роль (майже 34 %) українських науковців в дослідженні цих питань. Більшість авторів публікацій при цьому працюють в Національній академії медичних наук України та Національній академії наук України.

Подальше дослідження з застосуванням сучасного інструментарію VOSviewer дозволило візуалізувати взаємозв'язки між ключовими словами та співавторами, та забезпечити контекстуально-часовий та географічний аналіз публікацій. Показано наявність 4 кластерів в мережі використання ключових слів та в мережі розподілу співавторів за країнами.

Як основні сучасні тенденції відмічено відхід від дослідження питань, пов'язаних з наслідками ЧАЕС та підвищення актуальності проблем біженців, гуманітарної

кризи, пандемії, ментального та фізичного здоров'я людей, сталого розвитку а також зміцнення співпраці українських науковців з європейськими колегами.

Отримані результати, як очікується, дозволять спеціалістам та науковцям в галузі мати комплексне розуміння стану питання, та надалі свідомо приймати рішення, ефективно використовувати ресурси та зосереджуватись на актуальних проблемах в сфері цивільного захисту та охорони праці, що потребують термінового розв'язання.

Список літератури

1. Дівізінюк М.М., Єременко С.А., Лефтеров О.А., Пруський А.В., Стрілець В.В., Стрілець В.М., Шевченко Р.І. Теоретичні засади парадигми “цивільний захист”. Монографія. Київ: ТОВ «АЗИМУТ-ПРИНТ». 2022. 335 с.

2. Грибан В. Цивільний захист в Україні: створення та функціонування. *Naukovyy Visnyk Dnipropetrovskogo Derzhavnogo Universytetu Vnutrishnikh Sprav*. 2024. Т. 2. С.133-140. URL: <https://doi.org/10.31733/2078-3566-2024-2-133-140> (дата звернення: 12.03.2025).

3. Потеряйко С.П. Проблеми державного управління цивільним захистом щодо забезпечення державної безпеки України. *Інвестиції: практика та досвід*. 2021. № 9. С. 103–108. DOI: [10.32702/2306-6814.2021.9.103](https://doi.org/10.32702/2306-6814.2021.9.103)

4. Коцюруба, В., & Прошин, І. (2024). Методика розрахунку наслідків при проривах (руйнування) гідротехнічних споруд критичної інфраструктури. *Social Development and Security*, 14(6), 127-137. URL: <https://doi.org/10.33445/sds.2024.14.6.13>

5. Лобойченко В.М. Формування методики ідентифікації передумов поширення надзвичайних ситуацій унаслідок накопичення шкідливих речовин на хімічних об'єктах. *Комунальне господарство міст*. 2020. 1(154), 298-305. URL: <https://khg.kname.edu.ua/index.php/khg/article/view/5568>.

6. Щербак, О., Дерев'янко, О., Нешпор, О., & Шевченко, Р. (2023). Методика виявлення осередкових ознак надзвичайної ситуації внаслідок пожежі на об'єктах критичної інфраструктури. *Комунальне господарство міст*, 1(175), 105–111. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2023-1-175-105-111>.

7. Loboichenko V., Wilk-Jakubowski J., Wilk-Jakubowski G., Harabin R., Shevchenko R., Strelets V., Levterov A., Soshinskiy A., Tregub N., Antoshkin O. The Use of Acoustic Effects for the Prevention and Elimination of Fires as an Element of

Modern Environmental Technologies. *Environmental and Climate Technologies*, 2022, 26(1) 319-330. <https://doi.org/10.2478/rtuect-2022-0024>

8. Ibrayev, Z., Balkir, Z.G., Yaesh, A.Q.S. (2025). Labor Protection Policies in Kazakhstan. In: Aldhaen, E., Braganza, A., Hamdan, A., Chen, W. (eds) *Business Sustainability with Artificial Intelligence (AI): Challenges and Opportunities*. Studies in Systems, Decision and Control, vol 568. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-71526-6_86

9. Chepiga, D., Podkopaiev, S., Shashenko, O., Skobenko, O., Demchenko, O., Podkopayev, Y., Fedorchuk-Moroz, V., Matsuk, Z., & Shymchuk, O. (2024). Determining the stability of roll-back stretches in steep layers when unloading a coal rock massif. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(1 (132), 41-49. / URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.314842>

10. Azarenko, O., Honcharenko, Y., Divizinyuk, M., Mirnenko, V., Strilets, V., & Wilk-Jakubowski, J. L. (2022). The influence of air environment properties on the solution of applied problems of capturing speech information in the open terrain. *Social Development and Security*, 12(2), 64-77. <https://doi.org/10.33445/sds.2022.12.2.6>

11. Cavalieri d'Oro E., Malizia A. Emergency Management in the Event of Radiological Dispersion in an Urban Environment. *Sensors*. 2023. Vol. 23, no. 4. P. 2029. URL: <https://doi.org/10.3390/s23042029> (date of access: 12.03.2025).

12. Myroshnychenko A., Loboichenko V., Divizinyuk M., Levterov A., Rashkevich N., Shevchenko O., Shevchenko R. Application of Up-to-Date Technologies for Monitoring the State of Surface Water in Populated Areas Affected by Hostilities. *Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences*, 2022, 16 (3), 50-59

13. Веселов, М., & Забеділіна, А. (2023). Цивільний захист населення в умовах воєнного стану. *Зовнішня торгівля: економіка, фінанси,*

право, 129(4), 98–114.
[https://doi.org/10.31617/3.2023\(129\)09](https://doi.org/10.31617/3.2023(129)09)

14. Лобойченко, В., Колошко, Ю., Груздова, В., Хмирова, А., Шевченко, О., & Шевченко, Р. (2024). Застосування месенджерів для побудови архітектури системи збору будівельних відходів, що утворились внаслідок бойових дій. *Комунальне господарство міст*, 6(187), 266–277.
<https://doi.org/10.33042/2522-1809-2024-6-187-266-277>.

15. Павлів В., Букарева О., Михалюк А., н.к. В.М. Лобойченко. Цифрові технології в забезпеченні мінної небезпеки в Україні. Студентський науковий вісник. Student Scientific Bulletin, Studencki Biuletyn Naukowy. Фаховий науковий збірник. Випуск 50. Луцьк: Видавництво «Вежа-Друк», 2023. С. 246-252.

16. Сарапін, Ю., Авраменко, О., Іванов, В., & Федоров, О. (2023). Підвищення ефективності захисту об'єктів зберігання боєприпасів (авіаційних засобів ураження) від виникнення надзвичайних ситуацій шляхом удосконалення умов зберігання. *Повітряна міць України*, 2(5), 51-57. <https://doi.org/10.33099/2786-7714-2023-2-5-51-57>

17. Бужанська М.В. Актуальні проблеми безпеки праці під час воєнного стану в Україні. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2024. № 4(87). С. 414–418. URL: <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.4.54> (дата звернення: 12.03.2025).

18. Федорчук-Мороз, В. & Рудинець, М. (2024) Підвищення рівня культури безпеки та зниження психосоціальних ризиків на підприємствах в умовах воєнного стану. *Вісті Донецького гірничого інституту*. №2, 128-137. URL: <https://doi.org/10.31474/1999-981X-2024-2-128-137>.

19. Antiviral therapy for COVID-19 virus: A narrative review and bibliometric analysis / S. M. Mawazi et al. *The American Journal of Emergency Medicine*. 2024. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2024.09.001> (date of access: 12.03.2025).

20. Farrokhi, M., Forouzanfar, M. M., Hashemi, B., & Nazari, S. S. H. (2025). Research trends in the field of emergency Medicine; A comparative bibliometric analysis on publications across journal quartiles. *PubMed*, 13(1), e22. <https://doi.org/10.22037/aaemj.v13i1.2461>.

21. Melton, G.B., & Sianko, N. (2010). How can government protect mental health amid a disaster? *American Journal of Orthopsychiatry*, 80(4), 536–545. <https://doi.org/10.1111/j.1939-0025.2010.01057.x>

22. Onur D., Çetin M. Global research trends of BRUE (brief resolved unexplained event) or formerly ALTE (apparent life-threatening event): A comprehensive visualization and bibliometric

analysis from 1988 to 2024. *The American Journal of Emergency Medicine*. 2025. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2025.01.045>. (date of access: 12.03.2025).

23. Du, Y., Yan, Y. Review of research on escape lighting of disaster scene based on bibliometric analysis. *China Safety Science Journal*. 2024, 34(8), 204-213. (Китайською)

24. Bal, F., & Yilmaz, E. S. Bibliometric Analysis of Studies on the Role of Social Media in Natural Disaster Crisis. *Journal of Disaster and Risk*, 2024, 7(1), 128-138. <https://doi.org/10.35341/afet.1321350>. (Турецькою)

25. De Iuliis M., Cardoni A., Paolo Cimellaro G. Resilience and safety of civil engineering systems and communities: A bibliometric analysis for mapping the state-of-the-art. *Safety Science*. 2024, 174. 106470. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2024.106470>.

26. Li, X., & Sun, Y. (2024). Global Trends in Research related to Emergence Agitation from 1978 to 2023: A Bibliometric analysis. *Journal of PeriAnesthesia Nursing*, 39(4), 567-576.e1. <https://doi.org/10.1016/j.jopan.2023.10.017>.

27. Galvis, D. J. M., & Molina, A. L. V. (2024). Occupational safety and health in the agricultural sector: a bibliographic review. *PubMed*, 21(3), e20231137. <https://doi.org/10.47626/1679-4435-2023-1137>.

28. Gemmano, C. G., Signore, F., Caffò, A. O., Palmisano, G. L., Bosco, A., & Manuti, A. (2020). What a difference a workplace makes. A scientometric analysis on the relationship between job crafting and healthy organizations' factors. *Electronic Journal of Applied Statistical Analysis*, 13(3), 652-681. <https://doi.org/10.1285/i20705948v13n3p652>.

29. Островський, О. (2024). Бібліометричний аналіз наукових публікацій з питань діджиталізації суспільства та освіти. *Цифрова економіка та економічна безпека*, (2 (11), 131-136. <https://doi.org/10.32782/dees.11-20>.

30. Вамболь, С.О., Ткачук, К.К., Шестопапов, О.В., Сакун, А.О., & Вамболь, В.С. (2024). Методологічний підхід до дослідження поведінки з промисловими відходами і візуалізація інформаційно-аналітичного огляду. *Проблеми охорони праці в Україні*, 40(3-4), 3-12. <https://doi.org/10.36804/nndipbop.40-3-4.2024.3-12>.

31. Дикий, А. (2022). Бібліометричний аналіз наукових публікацій, що індексуються в наукометричних базах даних, з проблем економічної злочинності. *Економіка і регіон. Economics and Region*, 4(87), 308-318. [https://doi.org/10.26906/EiR.2022.4\(87\).2813](https://doi.org/10.26906/EiR.2022.4(87).2813)

32. Scopus. <https://www.scopus.com/>

33. Welcome to VOSviewer. <https://www.vosviewer.com/>

34. Мінтій І.С., Вакалюк Т.А., Ткаченко В.А. Використання сервісу VOSviewer у науковій діяльності. Інноваційна педагогіка. 2024, 75, 279–285. DOI <https://doi.org/10.32782/2663-6085/2024/75.54>.

35. Makhachashvili, R., Semenist, I., Prihodko, G., Prykhodchenko, O., Rudik, I., Ter-Grygoryan, M., & Brus, M. (2024). Interdisciplinary, AI-Interoperable, and Universal Skills for Foreign Languages Education in Emergency Digitization. *Journal of Systemics, Cybernetics and Informatics*, 22(5), 31–38. <https://doi.org/10.54808/jsci.22.05.31>.

36. Makhachashvili, R., & Semenist, I. (2024). Transformative, Transdisciplinary, Transcendent Digital Education: Synergy, Sustainability and Calamity. *Special Issue on Trans- and Inter-Disciplinary Research, Education, and Communication*, 22(4), 20–27. <https://doi.org/10.54808/jsci.22.04.20>

37. Bazyka, D.A., Chumak, A.A., Rushchak, L.V., Ivanko, O.M., Potapchuk, V.A., & Yevchenko, D.O. (2024). Radiation safety and radiation protection of military personnel – assessment of the current regulatory base through the problems of martial state in Ukraine. *Ukrainian Journal of Military Medicine*, 5(2), 28–38. [https://doi.org/10.46847/ujmm.2024.2\(5\)-028](https://doi.org/10.46847/ujmm.2024.2(5)-028).

38. Belyi, D., Nastina, O., Sydorenko, G., Kursina, N., Bazyka, O., Kovaliov, O., & Bazyka, D. (2022). Analysis of clinical and functional indices of cardiovascular system in post-COVID-19 emergency workers of the Chornobyl accident. *Problems of Radiation Medicine and Radiobiology*, 27, 290–306. <https://doi.org/10.33145/2304-8336-2022-27-290-306>

References

1. Divizynyuk, M.M., Yermenko, S.A., Leftyrov, O.A., Pruskyi, A.V., Strilets, V.V., Strilets, V.M., & Shevchenko, R.I. (2022). Theoretical foundations of the paradigm “civil protection”. Kyiv: TOV “AZIMUT-PRINT”. (In Ukrainian)

2. Hryban, V. (2024). Civil protection in Ukraine: Establishment and functioning. *Naukovyy Visnyk Dnipropetrovskogo Derzhavnogo Universytetu Vnutrishnikh Sprav*, 2, 133–140. <https://doi.org/10.31733/2078-3566-2024-2-133-140> (In Ukrainian)

3. Poteryayko, S.P. (2021). Problems of state management of civil protection in ensuring the national security of Ukraine. *Investments: Practice and Experience*, 9, 103–108. <https://doi.org/10.32702/2306-6814.2021.9.103> (In Ukrainian)

4. Kotsyuruba, V., & Proshchyn, I. (2024). Methodology for calculating consequences in case of breaches (destruction) of hydraulic structures of critical infrastructure. *Social Development and*

Security, 14(6), 127–137. <https://doi.org/10.33445/sds.2024.14.6.13> (In Ukrainian)

5. Loboichenko, V. M. (2020). Formation of the methodology for identifying preconditions for the spread of emergencies due to the accumulation of harmful substances at chemical facilities. *Municipal Economy of Cities*, 1(154), 298–305. <https://khg.kname.edu.ua/index.php/khg/article/view/5568> (In Ukrainian)

6. Shcherbak, O., Derev'yanko, O., Neshpor, O., & Shevchenko, R. (2023). Methodology for detecting focal signs of an emergency caused by a fire at critical infrastructure facilities. *Municipal Economy of Cities*, 1(175), 105–111. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2023-1-175-105-111> (In Ukrainian)

7. Loboichenko, V., Wilk-Jakubowski, J., Wilk-Jakubowski, G., Harabin, R., Shevchenko, R., Strelets, V., Levterov, A., Soshinskiy, A., Tregub, N., & Antoshkin, O. (2022). The use of acoustic effects for the prevention and elimination of fires as an element of modern environmental technologies. *Environmental and Climate Technologies*, 26(1), 319–330. <https://doi.org/10.2478/rtuect-2022-0024>

8. Ibrayev, Z., Balkir, Z. G., & Yaesh, A. Q. S. (2025). Labor protection policies in Kazakhstan. In E. AlDhaen, A. Braganza, A. Hamdan, & W. Chen (Eds.), *Business Sustainability with Artificial Intelligence (AI): Challenges and Opportunities* (Vol. 568, pp. XX–XX). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-71526-6_86

9. Chepiga, D., Podkopaiev, S., Shashenko, O., Skobenko, O., Demchenko, O., Podkopayev, Y., Fedorchuk-Moroz, V., Matsuk, Z., & Shymchuk, O. (2024). Determining the stability of roll-back stretches in steep layers when unloading a coal rock massif. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(1 (132), 41–49. / URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.314842>

10. Azarenko, O., Honcharenko, Y., Divizynyuk, M., Mirnenko, V., Strilets, V., & Wilk-Jakubowski, J. L. (2022). The influence of air environment properties on the solution of applied problems of capturing speech information in the open terrain. *Social Development and Security*, 12(2), 64–77. <https://doi.org/10.33445/sds.2022.12.2.6>

11. Cavalieri d'Oro E., Malizia A. Emergency Management in the Event of Radiological Dispersion in an Urban Environment. *Sensors*. 2023. Vol. 23, no. 4. P. 2029. URL: <https://doi.org/10.3390/s23042029> (date of access: 12.03.2025).

12. Myroshnychenko A., Loboichenko V., Divizynyuk M., Levterov A., Rashkevich N., Shevchenko O., Shevchenko R. Application of Up-to-Date Technologies for Monitoring the State of Surface Water in Populated Areas Affected by

Hostilities. Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences, 2022, 16 (3), 50-59

13. Veselov, M., & Zabiedilina, A. (2023). Civil protection of the population under martial law conditions. *Foreign Trade: Economics, Finance, Law*, 129(4), 98–114. [https://doi.org/10.31617/3.2023\(129\)09](https://doi.org/10.31617/3.2023(129)09) (In Ukrainian)

14. Loboychenko, V., Koloshko, Yu., Hruzdova, V., Khmyrova, A., Shevchenko, O., & Shevchenko, R. (2024). Application of messengers for building an architecture of a construction waste collection system resulting from hostilities. *Municipal Economy of Cities*, 6(187), 266–277. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2024-6-187-266-277> (In Ukrainian)

15. Pavliv, V., Bukareva, O., Mykhaliuk, A., & Loboychenko, V.M. (2023). Digital technologies in ensuring mine safety in Ukraine. *Student Scientific Bulletin / Studencki Biuletyn Naukowy*. Professional scientific collection. Issue 50. Lutsk: Publishing House "Vezha-Druk", pp. 246-252. (In Ukrainian)

16. Sarapin, Yu., Avramenko, O., Ivanov, V., & Fedorov, O. (2023). Improving the efficiency of protecting ammunition storage facilities (aviation destruction means) from emergencies by optimizing storage conditions. *Air Power of Ukraine*, 2(5), 51–57. <https://doi.org/10.33099/2786-7714-2023-2-5-51-57> (In Ukrainian)

17. Buzhanska, M.V. (2024). Current issues of occupational safety during martial law in Ukraine. *Bulletin of Kherson National Technical University*, 4(87), 414–418. URL: <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.4.54> (accessed: 12.03.2025). (In Ukrainian)

18. Fedorchuk-Moroz, V. & Rudynets, M. (2024). Enhancing safety culture and reducing psychosocial risks in enterprises under martial law conditions. *News of Donetsk Mining Institute*, 2, 128-137. URL: <https://doi.org/10.31474/1999-981X-2024-2-128-137> (In Ukrainian)

19. Antiviral therapy for COVID-19 virus: A narrative review and bibliometric analysis / S. M. Mawazi et al. *The American Journal of Emergency Medicine*. 2024. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2024.09.001> (date of access: 12.03.2025).

20. Farrokhi, M., Forouzanfar, M. M., Hashemi, B., & Nazari, S. S. H. (2025). Research trends in the field of emergency Medicine; A comparative bibliometric analysis on publications across journal quartiles. *PubMed*, 13(1), e22. <https://doi.org/10.22037/aaemj.v13i1.2461>.

21. Melton, G.B., & Sianko, N. (2010). How can government protect mental health amid a disaster? *American Journal of Orthopsychiatry*, 80(4), 536–545. <https://doi.org/10.1111/j.1939-0025.2010.01057.x>

22. Onur D., Çetin M. Global research trends of BRUE (brief resolved unexplained event) or

formerly ALTE (apparent life-threatening event): A comprehensive visualization and bibliometric analysis from 1988 to 2024. *The American Journal of Emergency Medicine*. 2025. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2025.01.045>. (date of access: 12.03.2025).

23. Du, Y., Yan, Y. Review of research on escape lighting of disaster scene based on bibliometric analysis. *China Safety Science Journal*. 2024, 34(8), 204-213. (In Chinese)

24. Bal, F., & Yılmaz, E. S. Bibliometric Analysis of Studies on the Role of Social Media in Natural Disaster Crisis. *Journal of Disaster and Risk*, 2024, 7(1), 128-138. <https://doi.org/10.35341/afet.1321350>. (In Turkish)

25. De Iuliis M., Cardoni A., Paolo Cimellaro G. Resilience and safety of civil engineering systems and communities: A bibliometric analysis for mapping the state-of-the-art. *Safety Science*. 2024, 174. 106470. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2024.106470>.

26. Li, X., & Sun, Y. (2024). Global Trends in Research related to Emergence Agitation from 1978 to 2023: A Bibliometric analysis. *Journal of PeriAnesthesia Nursing*, 39(4), 567-576.e1. <https://doi.org/10.1016/j.jopan.2023.10.017>.

27. Galvis, D. J. M., & Molina, A. L. V. (2024). Occupational safety and health in the agricultural sector: a bibliographic review. *PubMed*, 21(3), e20231137. <https://doi.org/10.47626/1679-4435-2023-1137>.

28. Gemmano, C. G., Signore, F., Caffò, A. O., Palmisano, G. L., Bosco, A., & Manuti, A. (2020). What a difference a workplace makes. A scientometric analysis on the relationship between job crafting and healthy organizations' factors. *Electronic Journal of Applied Statistical Analysis*, 13(3), 652–681. <https://doi.org/10.1285/i20705948v13n3p652>.

29. Ostrovskyi, O. (2024). Bibliometric analysis of scientific publications on digitalization of society and education. *Digital Economy and Economic Security*, 2(11), 131-136. <https://doi.org/10.32782/dees.11-20>. (In Ukrainian)

30. Vambol, S.O., Tkachuk, K.K., Shestopalov, O.V., Sakun, A.O., & Vambol, V.S. (2024). Methodological approach to the study of industrial waste management and visualization of an information-analytical review. *Problems of Occupational Safety in Ukraine*, 40(3-4), 3-12. <https://doi.org/10.36804/nndipbop.40-3-4.2024.3-12>. (In Ukrainian)

31. Dykyi, A. (2022). Bibliometric analysis of scientific publications indexed in scientometric databases on economic crime issues. *Economics and Region*, 4(87), 308–318. [https://doi.org/10.26906/EiR.2022.4\(87\).2813](https://doi.org/10.26906/EiR.2022.4(87).2813). (In Ukrainian)

32. Scopus. <https://www.scopus.com/>

33. Welcome to VOSviewer. <https://www.vosviewer.com/>
34. Mintii, I.S., Vakaliuk, T.A., & Tkachenko, V.A. (2024). The use of the VOSviewer service in scientific activities. *Innovative Pedagogy*, 75, 279-285. <https://doi.org/10.32782/2663-6085/2024/75.54>. (In Ukrainian)
35. Makhachashvili, R., Semenist, I., Prihodko, G., Prykhodchenko, O., Rudik, I., Ter-Grygoryan, M., & Brus, M. (2024). Interdisciplinary, AI-Interoperable, and Universal Skills for Foreign Languages Education in Emergency Digitization. *Journal of Systemics, Cybernetics and Informatics*, 22(5), 31-38. <https://doi.org/10.54808/jsci.22.05.31>.
36. Makhachashvili, R., & Semenist, I. (2024). Transformative, Transdisciplinary, Transcendent Digital Education: Synergy, Sustainability and Calamity. *Special Issue on Trans- and Inter-Disciplinary Research, Education, and Communication*, 22(4), 20-27. <https://doi.org/10.54808/jsci.22.04.20>
37. Bazyka, D.A., Chumak, A.A., Rushchak, L.V., Ivanko, O.M., Potapchuk, V.A., & Yevchenko, D.O. (2024). Radiation safety and radiation protection of military personnel – assessment of the current regulatory base through the problems of martial state in Ukraine. *Ukrainian Journal of Military Medicine*, 5(2), 28-38. [https://doi.org/10.46847/ujmm.2024.2\(5\)-028](https://doi.org/10.46847/ujmm.2024.2(5)-028).
38. Belyi, D., Nastina, O., Sydorenko, G., Kursina, N., Bazyka, O., Kovaliov, O., & Bazyka, D. (2022). Analysis of clinical and functional indices of cardiovascular system in post-COVID-19 emergency workers of the Chernobyl accident. *Problems of Radiation Medicine and Radiobiology*, 27, 290-306. <https://doi.org/10.33145/2304-8336-2022-27-290-306>

Лобойченко Валентина Михайлівна – д-р техн. наук, професор кафедри цивільної безпеки, Луцький національний технічний університет (вул. Львівська, 75, Луцьк, Волинська область, 43018, Україна).

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5188-6479> E-mail: Valentyna.Lobojchenko@lntu.edu.ua

Федорчук-Мороз Валентина Іванівна – канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри цивільної безпеки, Луцький національний технічний університет (вул. Львівська, 75, Луцьк, Волинська область, 43018, Україна). ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0941-1215>

E-mail: fedorchukmorozvalentyna@lutsk-ntu.com.ua

Шевченко Ольга Станіславівна – докторант, Національний університет цивільного захисту України, (вул. Онопрієнка, 8, Черкаси, 18034, Україна). ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2106-5009>

E-mail: shevchenkoolga2008@gmail.com

GENERAL BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF SCIENTIFIC PUBLICATIONS ON CIVIL PROTECTION AND OCCUPATIONAL SAFETY IN UKRAINE

Purpose. Is to conduct a bibliometric analysis of scientific publications on civil protection and occupational safety in Ukraine to assess the overall state of the issue and identify development trends.

Methodology. The research tool used is the specialized software VOSviewer, applying keyword searches in the scientometric database Scopus.

Results. The results of the first stage of the study revealed the dynamics of changes in the number of publications from 1952 to 2025, the main countries of the authors addressing the mentioned issue, the authors with the highest number of publications, and the institutions with the highest publication rates. In the second stage, the relationships between the co-occurrence of keywords, their temporal frequency, and the density of occurrences were visualized. Furthermore, the distribution of co-authors by country was analyzed, and the main trends in the development of the research area were identified.

Novelty. Lies in the fact that this is the first general bibliometric analysis of scientific publications in the field of civil protection and occupational safety using VOSviewer, with the identification of four clusters based on the co-occurrence of keywords and four clusters based on the countries of the authors. The further development of the issue in the field of civil protection and occupational safety is shown, including a shift from research on radiation effects related to the consequences of the Chernobyl disaster, and an intensification of studies on humanitarian crises, pandemics, refugees, mental and physical health, the consequences of war, sustainable development, and stronger collaboration with European scientists.

Practical significance. Lies in providing a comprehensive assessment of the state of the issue in the analyzed scientific publications and in the reasoned identification of directions for future research. In turn, the information gathered will allow specialists to make well-informed decisions and effectively allocate resources when conducting research in the field of occupational safety and civil protection.

Keywords: bibliometric analysis, civil protection, occupational safety, emergency situation, scientometric database Scopus, VOSviewer software, data visualization.

Valentyna Loboychenko – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Civil Safety, Lutsk National Technical University, (Lvivska Street, 75, Lutsk, Volyn Oblast, 43018, Ukraine).

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5188-6479>

E-mail: Valentyna.Lobojchenko@lntu.edu.ua

Valentyna Fedorchuk-Moroz – PhD (Engineering), Head of the Department of Civil Security, Lutsk National Technical University, (Lvivska Street, 75, Lutsk, Volyn Oblast, 43018, Ukraine).

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0941-1215>

E-mail: fedorchukmorozvalentyna@lutsk-ntu.com.ua

Olga Shevchenko, Doctoral Candidate, National University of Civil Protection of Ukraine, (Onopriyenka Street, 8, Cherkasy, 18034, Ukraine).

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2106-5009>

E-mail: shevchenkoolga2008@gmail.com

УДК 351.861

[https://doi.org/10.36910/3083-6255/1\(1\).2025.59-82](https://doi.org/10.36910/3083-6255/1(1).2025.59-82)

I.B. Маловик
С.О. Степанчук
В.В. Стрілець
А.А. Хижняк

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОВЕДЕННЯ АВАРІЙНО-РЯТУВАЛЬНИХ РОБІТ В УМОВАХ МОЖЛИВОГО БОЙОВОГО УРАЖЕННЯ

Мета. Провести дослідження. Розробити методику підвищення ефективності проведення аварійно-рятувальних робіт рятувальниками в умовах можливого бойового ураження.

Методика. Оцінка показників якості функціонування системи «рятувальник – засоби захисту та забезпечення аварійно-рятувальних робіт – надзвичайна ситуація з можливістю бойового ураження» із заданим рівнем значимості за результатами фізичного моделювання аварійно-рятувальних робіт в умовах можливого бойового ураження ворогом з подальшим обґрунтуванням оперативно-технічних рекомендацій рятувальникам.

Результат. Полягає у розробці та перевірці оперативно-технічних рекомендацій у відповідності до закономірностей скорочення часу оперативної діяльності рятувальників, які отримують за результатами фізичного моделювання аварійно-рятувальних робіт, передбачає послідовне виконання п'ятих процедур, а саме: – визначення обмежень, які є характерними для проведення аварійно-рятувальних робіт в умовах можливого бойового ураження; – оцінка показників якості функціонування системи «рятувальник – засоби захисту та забезпечення аварійно-рятувальних робіт – надзвичайна ситуація з можливістю бойового ураження» за результатами фізичного моделювання дій особового складу; – отримання функціональних залежностей показників якості проведення аварійно-рятувальних робіт в умовах можливого бойового ураження від обраних для аналізу факторів; – обґрунтування оперативно-технічних рекомендацій; – вибір рекомендацій для впровадження в нормативні документи за результатами статистичних оцінок того, наскільки ефективність від їх реалізації є значимою.

Наукова новизна. Розроблено методику підвищення ефективності проведення аварійно-рятувальних робіт рятувальниками в умовах можливого бойового ураження, основу якої складає математична модель підвищення ефективності проведення аварійно-рятувальних робіт в умовах можливого бойового ураження.

Практична значимість. Розробка практичних рекомендацій, наприклад щодо підвищення ефективності підготовки рятувальників.

Ключові слова: аварійно-рятувальні роботи, ефективність, бойове ураження, методика, експеримент, моделювання.

Вступ. Оперативно-рятувальні підрозділи ДСНС кожен день здійснюють близько 200 виїздів на ліквідацію наслідків обстрілів ворогом населених пунктів та об'єктів інфраструктури [1].

Такий стан справ, а також непоодинокі факти загибелі рятувальників під час виконання ними безпосередніх завдань за призначенням, свідчить про те, що підвищення ефективності проведення аварійно-рятувальних робіт в умовах можливого бойового ураження є актуальною науковою проблемою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням підвищення ефективності проведення аварійно-рятувальних робіт присвячена достатня кількість наукових робіт в провідних країнах світу, зокрема таких, що пов'язані із їх

підвищеною складністю виконання. Так, в [2] відмічено, що значні складності з точки зору підвищеної температури, видимості та відсутності досвіду роботи у закритих приміщеннях мають місце у рятувальників під час надзвичайних ситуацій у тунелях, але основна увага під час обґрунтування рекомендацій була приділена навчальним заходам, що визнають різні інтерпретації та мотиви для подальшої розробки заходів реагування. Питання безпосередньої оцінки результатів діяльності особового складу, у тому разі в непридатному для дихання середовищі, не розглядалися. Це було зроблено в [3-5], де були відмічені суттєві відмінності як за часом виконання типових операцій, так і за витратою повітря. Але і в цьому випадку отримані результати складно використовувати для обґрунтування

пропозицій щодо підвищення ефективності аварійно-рятувальних робіт в умовах можливого бойового ураження, оскільки не враховуються особливості, що пов'язані із необхідністю використання особовим складом відповідних засобів захисту.

Як не було це зроблено і в [4-9], де основна увага приділялась формуванню клімату безпеки серед пожежних, у даному випадку за рахунок використання відповідних засобів індивідуального захисту, як особливих факторів робочих одиниць. При цьому не враховувалась не тільки наявність самих засобів захисту, але й те, що їх застосування призводить до додаткового навантаження на організм рятувальника. Також це, без урахування особливостей роботи рятувальників в умовах можливого бойового ураження, відмічено в [10-13], де здійснено критичний погляд на фізичні вимоги екстреного реагування і аргументацію для експертів у цій області щодо підвищення рівня знань про здоров'я та фізичну підготовленість серед персоналу служб екстреного реагування та визначення різних компонентів навчання та освіти. А в [14-16] показано, що урахування фізичних навантажень працівників в екстремальних умовах зменшить професійні стреси і травми, вплине на ефективність їх діяльності, а також підтримає здоров'я на визначеному рівні.

При цьому, в [17,18] на прикладі аналізу проведення аварійно-рятувальних робіт в 2011 році на АЕС «Фукусіма-дайті» (АЕС) Токійської електроенергетичної компанії показана необхідність визначення закономірностей дій тих рятувальників, які безпосередньо працювали біля та в осередку надзвичайної ситуації. Але отримані там результати практично неможливо використовувати для обґрунтування пропозицій щодо підвищення ефективності дій рятувальників одночасно як в непридатних для дихання умовах, так і у вибухонебезпечному середовищі. В той же час, дослідження [19-21], в якому розглядалися закономірності щодо оцінки готовності лікарів до хімічних, радіологічних та ядерних інцидентів, показало, що їх підготовка, особливо лікарів швидкої допомоги, повинна враховувати специфічні особливості навколишнього середовища надзвичайної ситуації.

Схожа ситуація має місце і у випадку, коли розглядаються дії оперативних

розрахунків пожежно-рятувальних автомобілів. На сьогоднішній день обґрунтування рекомендацій для відповідного особового складу відбувається з урахуванням того, як він здійснює виконання типові для гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій операції та процеси. Так, в США під час підготовки оперативно-рятувальних підрозділів Федеральне агентство по реагуванню на надзвичайні ситуації [22], яке відповідає за цей напрямок, у відповідності до стандарту NFPA 1500-2002 [23], враховує як пожежну техніку, яка стоїть на озброєнні в підрозділах, так і місцеві особливості. При цьому особливості, що пов'язані із застосуванням засобів бронезахисту особового складу, під час оперативних розгортань не розглядаються.

Питання руху пожежних, які використовують засоби індивідуального захисту, розглянуто в [24]. Основна увага приділена як стандартним методам відповідних випробувань, так і використанню суб'єктивних експертних оцінок. Проте питання щодо визначення індивідуальних кількісних оцінок для порівняння рівня підготовленості окремих пожежних не розглядалися. Хоча в [25-27] відмічається, що показником кваліфікованого застосування специфічного пожежного обладнання є регламентовані часові стандарти оперативних розгортань як важливих етапів реагування первинних оперативних розрахунків. І це стосується як професійних [28], так і волонтерських [29-31] підрозділів. В той же час, питання, пов'язані з тим, що дії рятувальників під час оперативних розгортань відбуваються в умовах застосування засобів бронезахисту, не розглядалися. Як не розглядаються вони і в базовому стандарті ЄС [32], який вимагає урахування під час підготовки до проведення оперативних розгортань пожежних автомобілів кількості особового складу в оперативних розрахунках (3 в загальноприйнятому пожежному екіпажі або 6 – в так званій, пожежній «ескадрильї») та клас пожежного автомобіля. Аналогічна ситуація має місце і в Японії [33].

Хоча стосовно маркерів фізіологічного стресу пожежного в [34-36] відмічено, що кількісні оцінки часу виконання типових завдань у процесі дослідження працездатності рятувальника є важливими маркерами, які дозволяють отримати

кількісні показники для визначення критеріїв успіху. Аналогічна теза була підтверджена в [37] стосовно виконання тестових завдань авіаційними рятувальниками. Але і в [34-36], і в [37] питання градації пожежних не конкретизувались.

В [38], де розглядаються питання безпечного та ефективного управління фізичною підготовкою працівників екстремальних служб, відмічено, що зацікавлені сторони на експертному рівні у стилі світлофору можуть узгодити стандарти для оцінювання рівня підготовленості та відповідні порогові значення. Аналогічним чином це було зроблено і в [39], де розглядалась відповідність фізичних здібностей обраним початковим завданням реагування пожежних. Але і в першому, і в другому випадку питання визначення початкових критичних значень для оцінювання рівня підготовленості пожежних-рятувальників з урахуванням особливостей, які можна біло б пов'язувати хоча б по аналогії з роботою в засобах бронезахисту, не розглядались.

Тобто, в провідних країнах світу не розглядалась ситуація, коли проведення аварійно-рятувальних робіт в специфічних умовах екстремального впливу навколишнього середовища супроводжується одночасним застосуванням як загальноприйнятих засобів індивідуального захисту [40-44], так і засобами бронезахисту від можливого бойового ураження внаслідок виконання рятувальниками в таких умовах завдань за призначенням.

Можна було б вважати, що за кордоном бронезахист особового складу забезпечується застосуванням броньованих пожежно-рятувальних автомобілів, але їх аналіз показав, що до них умовно можна віднести аеродромні автомобілі, оскільки всі вони створюються на базі військової техніки і обов'язково передбачають захист від осколків пошкоджених літаків [45]. Так, пожежна машина Rosenbauer Panther австрійської компанії Rosenbauer International AG, одного з найбільших світових фахівців у галузі пожежної техніки, побудована за модульним принципом [46]. Гіперкар серед «пожежних» повною масою понад 50 тон розганяється до 80 км/год менш ніж за 25 секунд і летить до місця події на максимальних 135 км/год.

Ще одне вражаюче творіння австрійців – Tigon [47]. В даному випадку має місце помісь чеської Tatra і технічних рішень Rosenbauer. Цей автомобіль нагадує аеродромних рятувальників, але по факту таким не є – компанія-виробник позиціонує його для індустріальних завдань і застосування там, де немає асфальту. За базу взято чотирьох- і п'ятиосні шасі військової вантажівки Tatra Force 8×8 і Force 10×10 з фірмовою хребтової рамою і незалежною підвіскою. Силова установка та ж, що і у «пантери» – 700-сильний двигун Volvo D16, який агрегатований з автоматичною коробкою передач Allison. Їх тандем дозволяє прискорюватися до 80 км/год за 35 секунд і набирати 120 км/год.

Найбільш броньованою пожежною машиною є пожежний танк Big Wind («Сильний вітер»), розроблений і побудований угорською компанією MB Drilling [48]. Ця машина використовує принцип газоводяного гасіння, при якому суміш повітря і води відсікає від пального кисень. За основу Big Wind був узятий радянський танк Т-34. Величезні «гармати» на поворотній платформі – це реактивні двигуни РД-25-300 винищувача МіГ-21 з форсажними камерами. Але і ця машина має вузьке призначення – гасіння масштабних пожеж на газових та нафтових свердловинах.

Все це свідчить про те, що броньовані пожежні автомобілі, які виробляються в провідних країнах світу показав, що до них умовно можна віднести аеродромні автомобілі, оскільки всі вони створюються на базі військової техніки і обов'язково передбачають захист від осколків пошкоджених літаків, а також пожежний танк Big Wind, який створено на базі танку Т-34. Проте, їх застосування під час гасіння пожеж в умовах міської забудови або на об'єктах критичної інфраструктури, а саме це найпоширеним видом діяльності пожежних-рятувальників ДСНС за результатами дії окупантів, є неможливим внаслідок, в першу чергу, громіздкості цієї техніки.

Тобто, в провідних країнах світу вдосконалення ефективності проведення аварійно-рятувальних робіт в специфічних екстремальних умовах не передбачає здійснення такої діяльності особовим складом одночасно як в загальноприйнятих засобах індивідуального захисту, так і в засобах індивідуального бронезахисту від

можливого бойового ураження внаслідок виконання рятувальниками в таких умовах завдань за призначенням.

Аналогічна ситуація стосовно броньованих пожежно-рятувальних автомобілів має місце і в Україні [49-55].

При цьому основні нормативні вимоги щодо оперативних розгортань оперативно-рятувальної техніки [56] конкретизовані тільки для умов мирного стану.

Діяльність рятувальників в зоні можливого ворожого ураження характеризується тим, що він використовує не тільки загальноприйняті засоби індивідуального захисту, але й засоби противибухового захисту, як правило бронезилети [57]. На цей час особливості оперативної діяльності особового складу оперативно-рятувальних підрозділів в таких умовах ніде не розглядались, хоча не викликає сумнівів, що на складність дій вплине як і додаткове навантаження (близько 10 кг), так і обмеження рухомості.

Тим більше, що наявні експериментальні дослідження проведення аварійно-рятувальних робіт в умовах можливого бойового ураження і стосовно бойового розгортання пожежно-рятувальних автомобілів [79], і стосовно роботи газодимозахисників [80] в засобах бронезахисту, а також гуманітарного розмінування в радіаційно-забрудненій місцевості [81] підтвердили те, що розглянуті показники діяльності рятувальників мають суттєві (на рівні $\alpha=0,05$) відмінності.

В [82] розроблена математична модель, яка враховує властивості системи «рятувальник – засоби захисту та забезпечення аварійно-рятувальних робіт – надзвичайна ситуація з можливістю бойового ураження» у вигляді узагальнених інтегральних характеристик, а також визначає цілі імітаційної оцінки такої системи з урахуванням обмежень, пов'язаних з можливістю бойового ураження. Проте не показано яким чином конкретизація узагальненої математичної моделі підвищення ефективності проведення аварійно-рятувальних робіт в умовах можливого бойового ураження за результатами експериментального визначення відповідних закономірностей діяльності рятувальників дозволить отримати методику підвищення ефективності проведення аварійно-

рятувальних робіт рятувальниками, які одягнені в захисне спорядження, що включає засоби бронезахисту.

Таким чином, важливою та нерозв'язаною частиною проблеми підвищення ефективності проведення аварійно-рятувальних робіт в умовах можливого бойового ураження без зниження рівня безпеки рятувальників є відсутність методики підвищення ефективності проведення аварійно-рятувальних робіт рятувальниками, які одягнені в захисне спорядження, що включає засоби бронезахисту.

Мета статті (постановка завдання).

Враховуючи вищезазначене, метою роботи є у розробка методики підвищення ефективності проведення аварійно-рятувальних робіт в умовах можливого бойового ураження.

Для її досягнення потребують вирішення наступні завдання:

- визначення обмежень, які є характерними для проведення аварійно-рятувальних робіт в умовах можливого бойового ураження;
- оцінка показників якості функціонування системи «рятувальник – засоби захисту та забезпечення аварійно-рятувальних робіт – надзвичайна ситуація з можливістю бойового ураження»;
- отримання функціональних залежностей;
- розробка оперативно-технічних рекомендацій;
- оцінка ефективності оперативно-технічних рекомендацій.

Методи дослідження.

Усі дослідження проводились застосовуючи фізичне моделювання діяльності рятувальників з подальшим статистичним аналізом отриманих експериментальних результатів у відповідності до математичної моделі підвищення ефективності проведення аварійно-рятувальних робіт в умовах можливого бойового ураження.

Виклад основного матеріалу.

Визначення обмежень, які є характерними для проведення аварійно-рятувальних робіт в умовах можливого бойового ураження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що діяльність рятувальників в зоні можливого ворожого ураження характеризується як тим, що він використовує не тільки загальноприйняті засоби індивідуального захисту, але й засоби противибухового захисту.

Одним із варіантів цього могло би бути застосування пожежних автомобілів, підсилених бронезахистом. Проведений аналіз броньованих пожежних та рятувальних автомобілів, які мають місце в Україні, показав, що не передбачається їх застосування пожежно-рятувальними підрозділами. Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту, які виїжджають на гасіння пожеж внаслідок нанесення вогневих ударів ворогом. Захист особового складу під час гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій внаслідок ураження вибухонебезпечними речовинами та осколками ворожих снарядів забезпечується засобами індивідуального бронезахисту. На практиці, як правило, використовуються бронезилети III рівня захисту.

Це, у тому разі, стосується і проведення аварійно-рятувальних робіт в непридатному для дихання середовищі. Так, не викликає сумнівів, що діяльність газодимозахисників під час ліквідації надзвичайних ситуацій в зоні можливого бойового ураження має свої закономірності, які можуть бути пов'язаними як з їх оснащенням в додаток до загальноприйнятого засобами індивідуального захисту органів дихання, а також засобами захисту від уражень вогнепальної та холодної зброї, чи осколкових часток вибухових пристроїв. В останньому випадку це також бронезилети III рівня захисту. Враховуючи унікальність такої ситуації, яка є притаманною наразі для України, коли газодимозахисник ДСНС повинен застосовувати як одну, так і другу групу засобів індивідуального захисту, вона ніде в світі не розглядалась, а без знання відповідних закономірностей кількісних показників, які характеризують цю особливість діяльності особового складу, рекомендації будуть носити тільки якісний характер.

Таким чином, обмеженням, яке є характерним для проведення аварійно-рятувальних робіт в умовах можливого бойового ураження (АРР МБУ), є використання особовим складом оперативно-

рятувальних підрозділів ДСНС бронезилетів III рівня захисту.

Оцінка показників якості функціонування системи «рятувальник – засоби захисту та забезпечення аварійно-рятувальних робіт – надзвичайна ситуація з можливістю бойового ураження».

В [82] відмічено, що така оцінка може бути здійснена за результатами моделювання того, як виконуються типові операції або процеси, що є необхідними для проведення АРР БУ. Оскільки для оцінки закономірностей діяльності рятувальників за допомогою імітаційних систем, які повністю реалізуються на ЕОМ, необхідно мати вихідні дані щодо результатів діяльності, а вони ніколи і ніде до сих пір не розглядались, їх можна отримати під час навчання та тренування особового складу, тобто здійснити фізичне моделювання дій особового складу в умовах, що максимально наближені до реальних.

Типовим варіантом дій під час безпосередньої підготовки до проведення АРР БУ є виконання одного з типових варіантів оперативного розгортання пожежно-рятувального автомобіля [83], який буде ускладненим тим, що особовий склад здійснює його не тільки у загальновизнаному захисному спорядженні [84-89], але й додатково в бронезилеті 3-го класу захисту [90]. В цьому випадку показником якості функціонування СРЗНСУ буде час виконання оперативного розгортання за умови його здійснення без порушення вимог безпеки. Це дозволяє під час проведення експериментальних досліджень забезпечити можливість об'єктивної фіксації за допомогою повірених приладів результатів діяльності для кожного поєднання обраних важливих факторів. При цьому в кожному такому випадку вибірка експериментальних результатів повинна забезпечити їх отримання із заданим рівнем значимості (як правило $\alpha=0,05$).

Аналогічна ситуація має місце і у тому випадку, коли розглядається безпосереднє проведення АРР БУ. Одним з найбільш складних варіантів є робота рятувальників в непридатному для дихання середовищі. В цьому випадку для експериментальних імітаційних випробувань можна використовувати [91] мобільний тренажер виробництва компанії MAW GmbH, який складається з: мобільного тренувального

комплексу з пультом управління (рис. 1), що розміщується в 20-ти футовому (6,1 м) металевому контейнері, який поділено на три зони: компресорна, пульт керування, приміщення з тренажерами.

Комплекс призначений для відтворення фізичних навантажень на газодимозахисників під час розгортання сил і засобів, залучених до ліквідації надзвичайних ситуацій; мобільної теплодимокамери-лабіринта (рис. 2), яка

представляє собою 40-ка футовий (12,2 м) металевий контейнер, в якому розміщено двоярусний лабіринт. Цей контейнер оснащено елементами, які відтворюють елементи оперативної діяльності газодимозахисників та ускладнюють проходження лабіринту шляхом подолання труби-лаза, різноманітних проходів, дверей, жалюзі, відкидних заслінок, похилих поверхонь, роликового конвеєру тощо.



Рис. 1. Мобільний тренувальний комплекс з пультом управління

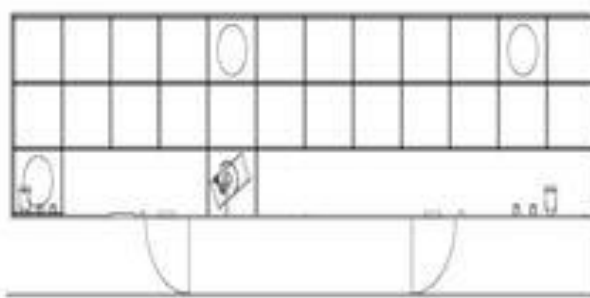


Рис. 2. Мобільна теплодимокамера- лабіринт

Задимлення контейнера забезпечується димомашиною, а підвищена температура навколишнього середовища (до 60 °С) – електричними тенами. Комплекс призначений для відтворення умов роботи газодимозахисників у задимленому середовищі та обмеженому просторі під час проведення розвідки, порятунку постраждалих та гасіння пожеж.

У відповідності до [91] під час занять із газодимозахисниками, а саме вони і виступають у якості досліджуваних, кожен з них у закріпленому за ним апараті на стисненому повітрі виконує у випадковій

послідовності наступні визначені вправи з урахуванням мінімально необхідного навантаження: підйом по нескінченним сходам (15 кДж); тяговий тренажер (5 кДж); бігова доріжка (10 кДж); велотренажер (30 кДж); подолання теплодимокамери-лабіринту в задимленому середовищі в умовах підвищеної температури (до 60 °С) та обмеженого простору (20 кДж). При цьому в автоматичному режимі фіксуються: діапазон серцебиття Δf від мінімального f_{min} до максимального f_{max} значення частоти серцевих скорочень (ЧСС) [уд./хв], об'єм Q використаного повітря [л] та тривалість t [с]

безперервного виконання визначених вправ та проходження лабіринту в умовах підвищеної температури.

Наявність об'єму Q та тривалості t дозволяє одночасно оцінити і показник легеневої вентиляції

$$\omega = \frac{Q \cdot 60}{t}, [\text{л/хв.}] \quad (1)$$

який у відповідності до [92] газодимозахисники використовують під час проведення аварійно-рятувальних робіт для прогнозування часу оперативної діяльності в непридатному для дихання середовищі.

Використання мобільного тренажера виробництва компанії MAW GmbH дозволяє організувати проведення порівняльних експериментальних досліджень найбільш важливих показників оперативної діяльності в непридатному для дихання середовищі (частоти серцевих скорочень, об'єму використаного повітря, часу безперервного виконання визначеного та однакового для всіх досліджуваних набору вправ, а також легеневої вентиляції), які можуть розглядатись як показники якості функціонування системи «рятувальник – засоби захисту та забезпечення аварійно-рятувальних робіт – надзвичайна ситуація з можливістю бойового ураження».

Для оцінки отриманих показників якості функціонування СРЗЗНСУ здійснюється статистична обробка експериментальних результатів, яка починається з перевірки отриманих вибірок на нормальність їх розподілу. З урахуванням того, що, як правило, на початковому етапі досліджень є можливість провести незначну кількість n_j (значно менше 100) для кожної спроби s виконання обраної вправи, що є типовою для проведення аварійно-рятувальних робіт (АРР), перевірку на нормальність доцільно виконати за критерієм Шапіро-Уїлкі [93].

Для цього необхідно розрахувати математичне очікування обраного показника, наприклад часу виконання обраного варіанту АРР БУ, якості виконання вправи за кожної спроби s , що розглядається, проведення аварійно-рятувальних робіт

$$\bar{t}_s (\text{АРР}) = \sum_{i=1}^{n_s} \frac{t_{is}}{n_s}, \quad (2)$$

де t_{is} – час i -го виконання обраного для розгляду варіанту АРР БУ в s -ій спробі, s ; середньоквадратичне відхилення

$$\sigma_s (\text{АРР}) = \sqrt{\frac{1}{n_s} \cdot \sum_{i=1}^{n_s} (t_{is} - \bar{t}_s)^2} \quad [c] \quad (3)$$

та

$$n_s \cdot m_2 (\text{АРР}) = \sum_{i=1}^{n_s} (t_{is} - \bar{t}_s)^2, [c^2] \quad (4)$$

де m_2 – вибіркового центральний момент другого порядку, а також проміжну суму

$$S(\text{АРР}) = \sum_{i=1}^k a_{n-i+1} \cdot (t_{(n-i+1)} - t_i) [c], \quad (5)$$

$$S(\text{АРР}) = \sum_{i=1}^k a_{n_s-i+1} \cdot (t_{(n_s-i+1)} - t_i) [c], \quad (5)$$

де k – індекс, який має значення від 1 до $n/2 = 3$; a_{n-i+1} – коефіцієнт, який має спеціальні значення для обсягу вибірки n (його значення, що наведені в табл. 2, взяті з табл.10 [93]).

Розподіл вважається нормальним, якщо у відповідності до табл. 11 [93] для рівня значимості $\alpha=0,05$ та, наприклад, $n_s=20$

$$W = \frac{S^2 (\text{АРР})}{n \cdot m_2 (\text{АРР})} \geq W_{\text{табл}} = 0,905, \quad (6)$$

розподіл у відповідності до [93] вважається нормальним.

Якщо вибірки є нормальними, то це дозволяє перейти до отримання функціональних залежностей, які стануть основою для розробки оперативно-технічних рекомендацій.

Отримання функціональних залежностей.

Наявність кількісних показників якості функціонування СРЗЗНСУ дозволяє перейти до отримання функціональних залежностей, наприклад, у вигляді закономірностей, відповідно до яких змінюються або розподіляються вихідні дані в часі

Таким чином, оцінку показників якості функціонування системи «рятувальник –

засоби захисту та забезпечення аварійно-рятувальних робіт – надзвичайна ситуація з можливістю бойового ураження» із заданим рівнем значимості (як правило $\alpha=0,05$) доцільно здійснювати за результатами, які отримані за допомогою повірених приладів, моделювання типових процесів і операцій проведення аварійно-рятувальних робіт в умовах можливого бойового ураження, під час навчання та тренування рятувальників в засобах бронезахисту, як під час безпосереднього виконання типових дій (наприклад оперативних розгортань пожежно-рятувальної техніки), так і під час виконання визначених для оцінки інших дій (наприклад дій з нормованим навантаженням під час застосування стаціонарних або мобільних тренажно-моделюючих комплексів).

Так, наприклад, в переважній більшості ситуації час типових операцій та процесів, характерних для здійснення аварійно-рятувальних робіт особовим складом зменшується [74,75,76,94,95], можна у відповідності до [96] припустити що він змінюється в залежності від кількості s попередньо виконаних спроб за експоненціальним законом. Перевірку цього доцільно виконати у відповідності до критерію Фроціні [97], оскільки його потужність не тільки не поступається іншим, а в більшості випадків перевершує і перевершує їх.

Для цього розраховується статистика

$$B_s = \frac{1}{\sqrt{s}} \sum_{j=1}^s \left| 1 - \exp\left(-\frac{\bar{t}_j}{\bar{t}(j)}\right) - \frac{i-0,5}{s} \right|, \quad (7)$$

де s – кількість виконаних спроб;

$$\bar{t}(j) = \frac{\sum_{j=1}^s \bar{t}_j}{s}. \quad (8)$$

Якщо

$$B_s < B_s^*(P), \quad (9)$$

де $B_s^*(P)$ – критичне значення [97] критерію експоненціальності Фроціні (P – рівень довіри);

то нульова гіпотеза експоненціальності розподілу не відхиляється і можна вважати, що залежність математичного очікування часу виконання розглянутого варіанту АРР БУ (або її складової) від кількості s виконаних спроб має вигляд

$$\bar{t} = \bar{t}_{\text{гран}} + (\bar{t}_1 - \bar{t}_{\text{гран}}) \cdot e^{-\lambda(s-1)}, \quad (10)$$

де $\bar{t}_1$ – середній час виконання розглянутого варіанту АРР БУ в першій спробі, s ;

$\bar{t}_{\text{гран}}$ – середній час виконання розглянутого варіанту АРР БУ після довготривалої підготовки s ;

λ – параметр (інтенсивність) експоненціального розподілу, s^{-1} .

Тобто, наявність експериментальних результатів, а також параметрів визначеного закону їх розподілу (як правило нормального) в кожній спробі, дозволяє визначити закономірність, у відповідності до якої змінюються вихідні дані в часі. Наприклад, за критерієм Фроціні з рівнем довіри $P=0,95$ перевірити те, що час виконання типових операцій та процесів, характерних для здійснення аварійно-рятувальних робіт в умовах можливого бойового ураження, змінюється за експоненціальним законом в залежності від кількості s попередньо виконаних спроб.

Розробка оперативно-технічних рекомендацій для впровадження вимагає з початку визначити момент, починаючи з якого це можна здійснювати [98]. Треба враховувати, що під час підготовки рятувальників до проведення АРР МБУ можуть мати дві ситуації. По-перше, коли час виконання окремих дій в залежності від кількості здійснених вправ практично не змінюється. Та, по-друге, коли він, як правило, зменшується за експоненціальним законом.

В першій ситуації для того, щоб впевнитись в цьому, потрібно перевірити, чи значимо відрізняються середні значення, отримані за двома незалежними вибірками (в першій та другій спробі) [99]. Тобто, треба розглянути гіпотезу

$$H_0 : \bar{t}_{s-1} = \bar{t}_s \quad (11)$$

та її альтернативу

$$H_1: t_{s-1} \neq t_s, \quad (12)$$

яка доказує відрізняє середніх значень.

Для цього з метою вибору конкретної методики розрахунку t-критерію Стюдента спочатку перевіряється гіпотеза про рівність дисперсій

$$H_0: \sigma_1 = \sigma_2, \quad (13)$$

для чого використовувався F-критерій

$$F = \frac{\sigma_{>}^2}{\sigma_{<}^2}, \quad (14)$$

де $\sigma_{>}^2$ – більша з оцінок дисперсій у двох вибірках.

Якщо критичне значення $F_{кр}$ при рівні значимості α (як правило $\alpha=0,05$) та числі ступенів свободи

$$v_1 = n_1 - 1 \quad v_2 = n_2 - 1, \quad (15)$$

де n_1 – кількість результатів в першій спробі;

n_2 – кількість результатів в другій спробі;

дорівнює

$$F_{кр} = F_{табл}(\alpha; v_1; v_2) \geq F, \quad (16)$$

що свідчить про рівність (2.39) дисперсій, то з урахуванням того, що вибірки малого розміру (<30), стандартна помилка різниці S_x та число ступенів свободи v під час розрахунку t-критерію визначаються [100] наступним чином

$$S_{1-2} = \sqrt{\frac{(n_1-1) \cdot \sigma_1^2 + (n_2-1) \cdot \sigma_2^2}{n_1+n_2-2} \cdot \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}, \quad (17)$$

$$v = n_1 + n_2 - 2. \quad (18)$$

Якщо

$$t_{набл} = \frac{|\bar{t}_1 - \bar{t}_2|}{S_{1-2}} > t_{табл}(\alpha; v), \quad (19)$$

то при заданому рівні значимості α (ймовірність похибки менше α) та числі ступенів свободи v можна прийняти гіпотезу H_0 .

Коли ж

$$F_{кр} = F_{табл}(\alpha; v_1; v_2) < F, \quad (20)$$

то t-критерій (19) визначається з урахуванням того, що число ступенів свободи v розраховується як

$$v = \frac{\left(\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}\right)^2}{\frac{\sigma_1^4}{n_1^2 \cdot (n_1-1)} + \frac{\sigma_2^4}{n_2^2 \cdot (n_2-1)}}. \quad (21)$$

В цьому випадку вважається за доцільне припинення навчання рятувальниками ДСНС виконання обраної вправи за тієї спроби s^* , після якої середній час здійснення обраного варіанту оперативної діяльності перестав скорочуватись, свідченням чого буде виконання нуль-гіпотези рівності оцінок середнього часу виконання в поточній s та попередній $(s-1)$ спробі.

З урахуванням того, що статистичний аналіз первинних експериментальних результатів дозволить визначити оцінки математичного очікування (2.32) та середньоквадратичного відхилення (2.33) за кожною спробою, спочатку для кожної з них доцільно отримати довірчий (з рівнем довіри $P=0,95$) інтервал можливих значень

$$t_s = \bar{t}_s \pm 1,96 \cdot \frac{\sigma_s}{\sqrt{n_s}} \quad (22)$$

та перевірити, чи пересікаються такі інтервали для спроб, що знаходяться поруч. Якщо не пересікаються, перевірку нуль-гіпотези можна не виконувати.

Коли ж пересікаються, то перевірку доцільно почати між спробами, які були спочатку. Для цього розглядається гіпотеза

$$H_0: \bar{t}_{s-1} = \bar{t}_s \quad (23)$$

та її альтернатива

$$H_1: t_{s-1} \neq t_s, \quad (24)$$

яка доводить відмінність середніх значень.

Оскільки вправи послідовно виконують одні й ті ж самі рятувальники (тобто $n_{s-1}=n_s$), у випадку, що розглядається, доцільним є застосування критерію Стюдента для залежних вибірок. В цьому випадку

стандартна помилка різниці розраховується [102] наступним чином

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_s} d_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^{n_s} d_i)^2}{n_s}}{n_s \cdot (n_s - 1)}}, \quad (25)$$

де d_i – різниця між відповідними значеннями змінних

$$d_i = t_s - t_{s-1}. \quad (26)$$

Коефіцієнт Стюдента визначається як

$$t_{\text{набл}} = \frac{\bar{d}}{S_d}, \quad (27)$$

де $\bar{d}$ – середнє значення між відповідними значеннями змінних

$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^{n_s} d_i}{n_s}. \quad (28)$$

Тоді з урахуванням того, що число ступенів свободи

$$v = n_s - 1, \quad (29)$$

можна говорити, що при рівні значимості α результати часу виконання контрольної вправи в спробах s та $(s-1)$ практично не відрізняються, якщо

$$t_{\text{набл}} < t_{\text{табл}}(\alpha; v). \quad (30)$$

Після визначення спроби, після якої час виконання операцій або процесів, які підлягають розгляду та забезпечують проведення аварійно-рятувальних робіт в умовах можливого бойового ураження, перестав зменшуватись, можна перейти до безпосереднього обґрунтування оперативно-технічних рекомендацій, наприклад, у вигляді нормативів для оцінювання якості того, наскільки рятувальники готові до дій в умовах можливого бойового ураження. При цьому для визначення нормативних оцінок можна використовувати вибірку результатів, яка складається з вибірок, що були отримані в спробі $(s-1)$ та в спробі s , і використовувати відповідні показники математичного очікування $\bar{t}_{(s-1)+s}$ та середньоквадратичного відхилення $\sigma_{(s-1)+s}$.

В цьому випадку у відповідності до центральної граничної теореми [103],

враховуючи те, що АРР БУ вимагає від особового складу виконання конкретної послідовності різноманітних дій, які додатково ускладнюються використанням засобів бронезахисту, можна припустити, що закон розподілу часу АРР БУ буде нормальним.

Це дозволяє використовувати відомий вираз [103] для визначення ймовірності улучення випадкової величини в заданий інтервал

$$p_5 = p(t \leq t_5) = \Phi\left(\frac{t_5 - \bar{t}_{(s-1)+s}}{\sigma_{(s-1)+s}}\right); \quad (31)$$

$$p_4 = p(t_4 < t \leq t_5) = \Phi\left(\frac{t_4 - \bar{t}_{(s-1)+s}}{\sigma_{(s-1)+s}}\right) - \Phi\left(\frac{t_5 - \bar{t}_{(s-1)+s}}{\sigma_{(s-1)+s}}\right) = \Phi\left(\frac{t_4 - \bar{t}_{(s-1)+s}}{\sigma_{(s-1)+s}}\right) - p_5; \quad (32)$$

$$p_3 = p(t_3 < t \leq t_4) = \Phi\left(\frac{t_3 - \bar{t}_{(s-1)+s}}{\sigma_{(s-1)+s}}\right) - \Phi\left(\frac{t_4 - \bar{t}_{(s-1)+s}}{\sigma_{(s-1)+s}}\right) = \Phi\left(\frac{t_3 - \bar{t}_{(s-1)+s}}{\sigma_{(s-1)+s}}\right) - (p_4 + p_5), \quad (33)$$

де $t_{5(4,3)}$ – значення часу бойової роботи, при досягненні якого норматив може бути оцінений на «відмінно» («добре», «задовільно»), с;

$\bar{t}_{(s-1)+s}$ – математичне очікування часу обраного варіанту АРР БУ у вибірці результатів, отриманих в $(s-1)$ -ій та s -ій спробах, с;

$\sigma_{(s-1)+s}$ – середньоквадратичне відхилення часу обраного варіанту АРР БУ у вибірці результатів, отриманих в $(s-1)$ -ій та s -ій спробах, с;

$\Phi\left(\frac{t_{5(4,3)} - \bar{t}_{(s-1)+s}}{\sigma_{(s-1)+s}}\right)$ – відповідне значення функції стандартного нормального розподілу.

З (12), (13) видно, що параметри математичного очікування $\bar{t}_{op}$ та середньоквадратичного відхилення σ_{op} можуть бути визначеними за результатами відповідних експериментальних досліджень, аналіз яких поряд з цим повинен підтвердити нормальність розподілу. В той же час застосування (12), (13) для отримання нормативних оцінок $t_{5(4,3)}$ вимагає знання й показників ймовірностей отримання відповідних оцінок $p_{5(4,3)}$.

Якщо їх представити у вигляді відповідних часток (частот) всіх можливих результатів, які попадають в інтервали $(t \leq t_5)$, $(t_4 < t \leq t_5)$, $(t_3 < t \leq t_4)$, то для їх визначення по аналогії з [129] можна використовувати середньозважені оцінки $\langle \tilde{p}_5; \tilde{p}_4; \tilde{p}_3 \rangle$, сума яких з урахуванням долі, яка приходить на незадовільну оцінку $\tilde{p}_2$, дорівнює одиниці.

Для їх визначення кожний j -ий експерт надає відповідні індивідуальні оцінки $\langle p_{5j}; p_{4j}; p_{3j} \rangle$. Це дозволяє усереднене очікуване значення $\tilde{p}_{5(4;3)}$ розглядати у вигляді середньовиваженої оцінки за спостереженнями всіх n експертів

$$\tilde{p}_{5(4;3)} = \sum_{j=1}^n v_{5(4;3)j} (\tilde{p}_{5(4;3)}) \cdot \tilde{p}_{5(4;3)}, \quad (34)$$

де $v_{5(4;3)j}(\tilde{p}_{5(4;3)})$ – ваговий коефіцієнт j -го експерта при оцінці $\tilde{p}_{5(4;3)}$, який розраховується як

$$v_{5(4;3)j}(\tilde{p}_{5(4;3)}) = \frac{1}{(p_{5(4;3)j} - \tilde{p}_{5(4;3)})^2 \cdot \sum_{j=1}^n \frac{1}{(p_{5(4;3)j} - \tilde{p}_{5(4;3)})^2}}, \quad (35)$$

$$\text{де } \tilde{p}_{5(4;3)} = \frac{\sum_{j=1}^n p_{5(4;3)j}}{n}.$$

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

$$|p_{5(4;3)j} - \tilde{p}_{5(4;3)}| \geq \alpha \cdot \sigma(\tilde{p}_{5(4;3)}), \quad (36)$$

$$\text{де } \alpha = 2,5 \div 3,0; \sigma(\tilde{p}_{5(4;3)}) = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^n (p_{5(4;3)j} - \tilde{p}_{5(4;3)})^2},$$

та, у разі необхідності, повторного розрахунку $\langle \tilde{p}_5; \tilde{p}_4; \tilde{p}_3 \rangle$, середньовиважені оцінки відповідних часток (частот) можливих результатів можна використовувати для розрахунку нормативів у відповідності до (31)–(33).

З урахуванням результатів розрахунку середньозважених оцінок $\langle \tilde{p}_5; \tilde{p}_4; \tilde{p}_3 \rangle$ та знання параметрів математичного очікування $\bar{t}_s$ (1) та середньоквадратичного відхилення σ_s (2) розподілу експериментальних результатів, шукані нормативні оцінки часу обраного варіанту оперативного розгортання

пожежного автомобіля в захисному спорядженні із засобами бронезахисту, використовуючи значення зворотної функції Φ^{-1} стандартного нормального розподілу, бути визначені як

$$t_5 = \bar{t}_{(s-1)+s} + \sigma_s \cdot \Phi^{-1}(\tilde{p}_5); \quad (37)$$

$$t_4 = \bar{t}_{(s-1)+s} + \sigma_s \cdot \Phi^{-1}(\tilde{p}_4 + \tilde{p}_5); \quad (38)$$

$$t_3 = \bar{t}_{(s-1)+s} + \sigma_s \cdot \Phi^{-1}(\tilde{p}_3 + \tilde{p}_4 + \tilde{p}_5). \quad (39)$$

Для використання отриманих (36)–(39) нормативних оцінок $\langle t_5; t_4; t_3 \rangle$ у якості нормативів у практичній діяльності їх треба відкоригувати з урахуванням вимог кратності і запам'ятовуваності [130].

Тобто, для обґрунтування оперативно-технічних рекомендацій можна використовувати науково-методичний апарат обґрунтування нормативів для оцінювання рівня підготовленості рятувальників, основу якого складає визначення зворотної функції стандартного нормального розподілу з урахуванням як його параметрів (математичного очікування та середньоквадратичного відхилення часу здійснення відповідного варіанту оперативної діяльності), так і оцінок ймовірності отримання відповідних оцінок у вигляді середньозважених оцінок відповідних часток (частот) всіх можливих результатів, які попадають в інтервали між (до, після) шуканими нормативними оцінками.

Обговорення результатів.

Оцінка ефективності оперативно-технічних рекомендацій, які були розроблені для підвищення ефективності проведення аварійно-рятувальних робіт в умовах можливого бойового ураження, полягає в перевірці того, наскільки значимо відрізняються результати діяльності рятувальників до та після їх впровадження. Це можна перевірити за критерієм Стюдента у відповідності до (17)–(21) для непов'язаних та (25)–(30) для пов'язаних вибірок. Якщо скорочення часу з обраним рівнем значимості α не можна вважати значимим, то треба перейти до вибору нових обмежень, в першу чергу вибору спеціалізованих засобів захисту та новітнього обладнання, які є необхідними

для проведення аварійно-рятувальних робіт в умовах можливого бойового ураження.

З урахуванням вищевикладеного керуючий алгоритм реалізації в практичній діяльності розробленої в [82] математичної

моделі підвищення ефективності проведення аварійно-рятувальних робіт в умовах можливого бойового ураження буде мати вигляд, який наведено на рис.3.

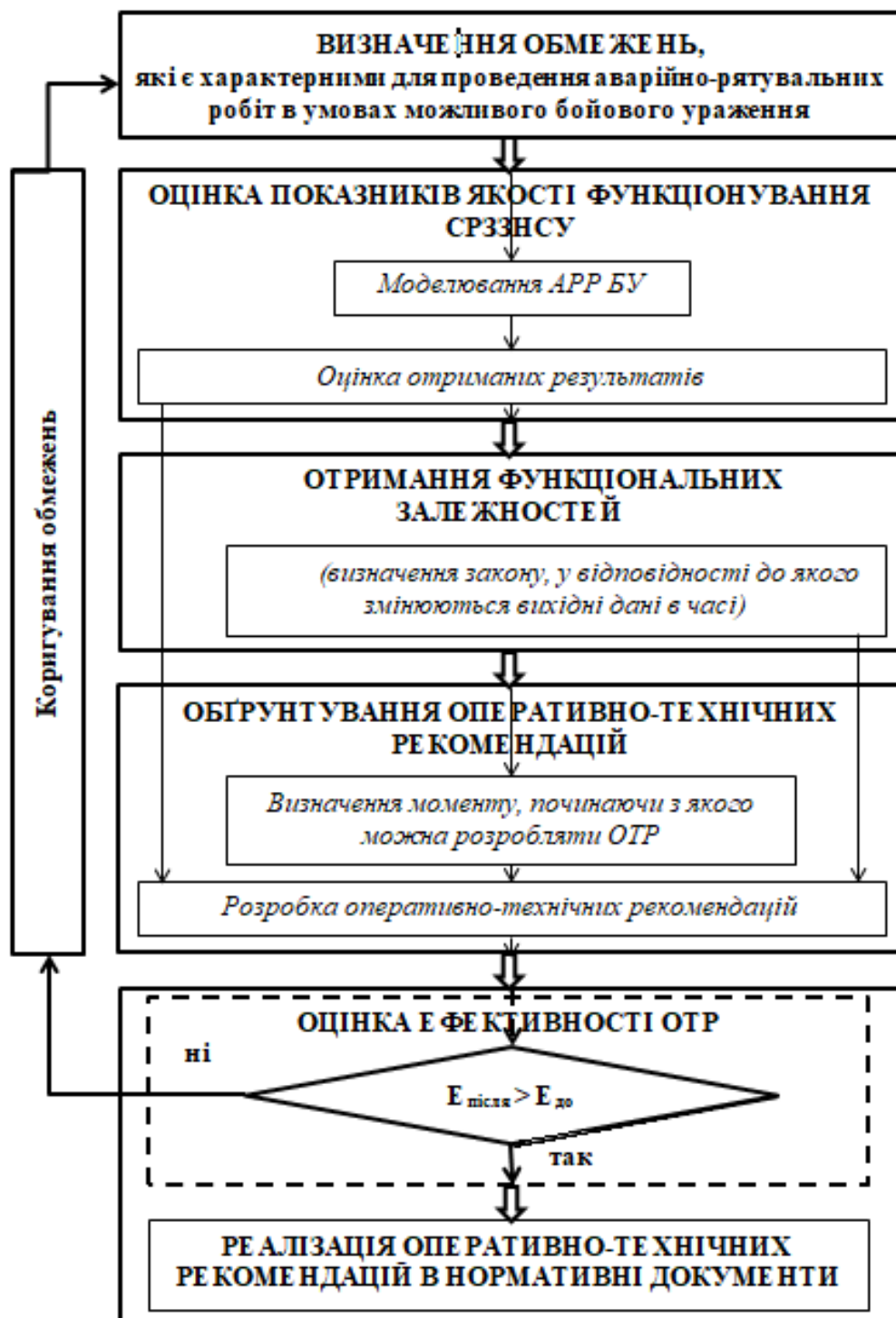


Рис. 3. Керуючий алгоритм реалізації методики підвищення ефективності проведення аварійно-рятувальних робіт в умовах можливого бойового ураження

Таким чином, методика підвищення ефективності проведення аварійно-рятувальних робіт в умовах можливого бойового ураження, основу якої складає математична модель підвищення ефективності проведення аварійно-рятувальних робіт в умовах можливого бойового ураження, полягає у розробці та перевірці оперативно-технічних рекомендацій у відповідності до закономірностей скорочення часу оперативної діяльності рятувальників, які отримують за результатами фізичного моделювання аварійно-рятувальних робіт, передбачає послідовне виконання п'ятих процедур, а саме: – визначення обмежень, які є характерними для проведення аварійно-рятувальних робіт в умовах можливого бойового ураження; – оцінка показників якості функціонування системи «рятувальник – засоби захисту та забезпечення аварійно-рятувальних робіт – надзвичайна ситуація з можливістю бойового ураження» за результатами фізичного моделювання дій особового складу; – отримання функціональних залежностей показників якості проведення аварійно-рятувальних робіт в умовах можливого бойового ураження від обраних для аналізу факторів; – обґрунтування оперативно-технічних рекомендацій; – вибір рекомендацій для впровадження в нормативні документи за результатами статистичних оцінок того, наскільки ефективність від їх реалізації є значимою.

Висновки.

Важливою та нерозв'язаною частиною проблеми підвищення ефективності проведення аварійно-рятувальних робіт в умовах можливого бойового ураження без зниження рівня безпеки рятувальників є відсутність методики підвищення ефективності проведення аварійно-рятувальних робіт рятувальниками, які одягнені в захисне спорядження, що включає засоби бронезахисту.

Обмеженням, яке є характерним для проведення аварійно-рятувальних робіт в умовах можливого бойового ураження, є використання особовим складом оперативно-рятувальних підрозділів ДСНС бронезилетів III рівня захисту.

Оцінку показників якості функціонування системи «рятувальник – засоби захисту та забезпечення аварійно-рятувальних робіт – надзвичайна ситуація з можливістю бойового ураження» із заданим рівнем значимості (як правило $\alpha=0,05$) доцільно здійснювати за результатами, які отримані за допомогою повірених приладів, моделювання типових процесів і операцій проведення аварійно-рятувальних робіт в умовах можливого бойового ураження, під час навчання та тренування рятувальників в засобах бронезахисту, як під час безпосереднього виконання типових дій (наприклад оперативних розгортань пожежно-рятувальної техніки), так і під час виконання визначених для оцінки інших дій (наприклад дій з нормованим навантаженням під час застосування стаціонарних або мобільних тренажно-моделюючих комплексів).

Наявність експериментальних результатів, а також параметрів визначеного закону їх розподілу (як правило нормального) в кожній спробі, дозволяє визначити закономірність, у відповідності до якої змінюються вихідні дані в часі.

Для обґрунтування оперативно-технічних рекомендацій можна використовувати науково-методичний апарат обґрунтування нормативів для оцінювання рівня підготовленості рятувальників, основу якого складає визначення зворотної функції стандартного нормального розподілу з урахуванням як його параметрів (математичного очікування та середньоквадратичного відхилення часу здійснення відповідного варіанту оперативної діяльності), так і оцінок ймовірності отримання відповідних оцінок у вигляді середньозважених оцінок відповідних часток (частот) всіх можливих результатів, які попадають в інтервали між (до, після) шуканими нормативними оцінками.

Методика підвищення ефективності проведення аварійно-рятувальних робіт в умовах можливого бойового ураження, основу якої складає математична модель підвищення ефективності проведення аварійно-рятувальних робіт в умовах можливого бойового ураження, полягає у розробці та перевірці оперативно-технічних рекомендацій у відповідності до

закономірностей скорочення часу оперативної діяльності рятувальників, які отримують за результатами фізичного моделювання аварійно-рятувальних робіт, передбачає послідовне виконання п'ятих процедур, а саме: – визначення обмежень, які є характерними для проведення аварійно-рятувальних робіт в умовах можливого бойового ураження; – оцінка показників якості функціонування системи «рятувальник – засоби захисту та забезпечення аварійно-рятувальних робіт – надзвичайна ситуація з можливістю бойового

ураження» за результатами фізичного моделювання дій особового складу; – отримання функціональних залежностей показників якості проведення аварійно-рятувальних робіт в умовах можливого бойового ураження від обраних для аналізу факторів; – обґрунтування оперативно-технічних рекомендацій; – вибір рекомендацій для впровадження в нормативні документи за результатами статистичних оцінок того, наскільки ефективність від їх реалізації є значимою.

Список літератури

1. Надзвичайні події : оперативна інформація ДСНС щодо наслідків ведення бойових дій російською федерацією. URL : <https://dsns.gov.ua/uk/news/nadzvicaini-podiyi/operativna-informaciia-dsns-shhodo-naslidkiv-vedennia-boiovih-dii-rosiiskoiu-federacijeiu-355> (дата звернення 29.08.2024).
2. Eklund A., Karlsson S. and Gyllencreutz L. Building “common knowledge” when responding to major road tunnel incidents: an inter-organisational focus group study. *International Journal of Emergency Services*. 2023. Vol. 12, No. 2. P. 145-160. <https://doi.org/10.1108/IJES-02-2022-0006>
3. Kesler R. Thermal degradation of self-contained breathing apparatus facepiece lenses under radiant thermal loads. *Journal of Fire Sciences*. 2024;42(3):236-247. doi:10.1177/07349041241227921
4. Gian, C.M., Mohd Tohir, M.Z., Md Said, M.S., Tharima, A.F., Mohd Nizam Ong, N.A.F. and Ramali, M.R. (2022), "Effectiveness of travel time during evacuation in high-rise residential buildings: a case study in Selangor, Malaysia", *International Journal of Emergency Services*, Vol. 11 No. 1, pp. 114-132. <https://doi.org/10.1108/IJES-09-2020-0053>
5. Carter BJ, Cammermeyer M. Emergence of real casualties during simulated chemical warfare training under high heat conditions. *Mil Med*. 1985 Dec;150(12):657-65. PMID: 3935970.
6. Shakeriaski F, Ghodrat M. Challenges and limitation of wearable sensors used in firefighters' protective clothing. *Journal of Fire Sciences*. 2022;40(3):214-245. doi:10.1177/07349041221079004
7. Mokoana V, Asante J, Okonkwo J. Brominated flame-retardant composition in firefighter bunker gear and its thermal performance analysis. *Journal of Fire Sciences*. 2021;39(3):207-223. doi:10.1177/07349041211001296
8. John L. Hick, Craig D. Thorne (2006). Chapter 36 - Personal Protective Equipment. *Disaster Medicine*, Mosby, 2006, Pages 246-254,

<https://doi.org/10.1016/B978-0-323-03253-7.50043-1>

9. Smith D., DeJoy T.iM. Safety climate, safe behavior and on-the-job injuries in the fire service. *International Journal of Emergency Services*. 2014. Vol. 3, № 1. P. 49-64. <https://doi.org/10.1108/IJES-04-2013-0010>.
10. Megan Grace L. A more operable definition for training and education. *International Journal of Emergency Services*. 2013. Vol. 2 No. 1. P. 21-28. <https://doi.org/10.1108/IJES-05-2012-0021>.
11. Seifizadeh Goldiani, Ali Asghar, & VATANKHAH, HAMIDREZA. (2022). Comparison of Rescue Workers in the Kermanshah Earthquake and Non-rescuers in the Red Crescent Society in Terms of Self-efficacy, Quality of Work Life, and Self-confidence. *SCIENTIFIC JOURNAL OF RESCUE AND RELIEF*, 14(2), 136-142. SID. <https://sid.ir/paper/1007855/en>
12. Laura A. Frey-Law; Frank K. Urban III (2019). Optimisation-based identification of parameters in a mathematical model of muscle fatigue. *International Journal of Human Factors Modelling and Simulation (IJHFMS)*, Vol. 7, No. 1, 2019. DOI : 10.1504/IJHFMS.2019.102178
13. John M. Looft; Laura A. Frey-Law (2015). Modelling three-dimensional human strength capacity: logistic vs. polynomial surface equations. *International Journal of Human Factors Modelling and Simulation (IJHFMS)*, Vol. 5, No. 1, 2015. DOI: 10.1504/IJHFMS.2015.068122
14. Jenssen O.R.N., Dillern T. Motivational regulation and physical activity in future emergency responders – staying fit, healthy and safe in a demanding occupational context. *International Journal of Emergency Services*. 2023. Vol. 12, No. 1. P. 52-65. <https://doi.org/10.1108/IJES-09-2021-0060>.
15. Jenssen, O.R.N. and Dillern, T. (2023), "Motivational regulation and physical activity in future emergency responders – staying fit, healthy and safe in a demanding occupational context", *International Journal of Emergency Services*, Vol. 12

No. 1, pp. 52-65. <https://doi.org/10.1108/IJES-09-2021-0060>

16. Taylor HL, Orlansky J. The effects of wearing protective chemical warfare combat clothing on human performance. *Aviat Space Environ Med.* 1993 Mar;64(3 Pt 2):A1-41. PMID: 8447813.

17. Hignett S., Hancox G. and Edmunds Otter M. Chemical, biological, radiological, nuclear and explosive (CBRNe) events: Systematic literature review of evacuation, triage and decontamination for vulnerable people. *International Journal of Emergency Services.* 2019. Vol. 8, No. 2. P. 175-190. <https://doi.org/10.1108/IJES-05-2018-0030>.

18. Bromet E. J. 2011. "Lessons Learned from Radiation Disasters." *World Psychiatry* 10 (2): 83–84. <https://doi.org/10.1002/j.2051-5545.2011.tb00020.x>.

19. Gyllencreutz L., Carlsson C., Karlsson S. and Hedberg P. Preparedness for chemical, radiologic and nuclear incidents among a sample of emergency physicians' and general practitioners - a qualitative study. *International Journal of Emergency Services.* 2023. Vol. 12, No. 2. P. 161-170. <https://doi.org/10.1108/IJES-07-2022-0032>.

20. Gyllencreutz, L., Carlsson, C.-P., Karlsson, S. and Hedberg, P. (2023), "Preparedness for chemical, radiologic and nuclear incidents among a sample of emergency physicians' and general practitioners—a qualitative study", *International Journal of Emergency Services*, Vol. 12 No. 2, pp. 161-170. <https://doi.org/10.1108/IJES-07-2022-0032>

21. Dallas, C., Klein, K., Lehman, T., Kodama, T., Harris, C. and Swieton, R. (2017), "Readiness for radiological and nuclear events among emergency medical personnel", *Public Health*, Vol. 5 No. 202, pp. 1-9, doi: 10.3389/fpubh.2017.00202

22. Hazardous waste operations and emergency response. *Occupational Safety and Health Standards* 1910. 120. URL: https://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=9765

23. NFPA 1500 Standard on Fire Department Occupational Safety and Health Program. 2002 Edition. URL: <http://www.fsans.ns.ca/pdf/research/nfpa1500.pdf>

24. Tochiyara Y., Lee J. Y., Son S. Y. A review of test methods for evaluating mobility of firefighters wearing personal protective equipment. *Ind Health.* 2022. 60(2). P. 106–120. doi: 10.2486/indhealth.2021-0157

25. OSHA 1910.156 Fire brigades. URL: https://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=9810

26. Guldvik, M.K., Helseth, A. and Grimsby, G. (2023), "Rapid intervention vehicles' impact on fire departments' response time", *International Journal of Emergency Services*, Vol. 12 No. 1, pp. 29-37. <https://doi.org/10.1108/IJES-05-2022-0022>

27. Hylander, J., Saveman, B.-I., Björnstig, U., Gyllencreutz, L. and Westman, A. (2022), "Time-

efficiency factors in road tunnel rescue as perceived by Swedish operative personnel – an interview study", *International Journal of Emergency Services*, Vol. 11 No. 2, pp. 312-324. <https://doi.org/10.1108/IJES-03-2021-0011>

28. NFPA 1033: Standard for Professional Qualifications for Fire Investigator. URL: <http://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards?mode=code&code=1033>

29. Texas City Refinery explosion. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Texas_City_Refinery_explosion

30. Lantz, E., Nilsson, B., Elmqvist, C., Fridlund, B. and Svensson, A. (2023), "Serving the community while balancing multiple responsibilities – experiences of working as a paid part-time firefighter", *International Journal of Emergency Services*, Vol. 12 No. 1, pp. 17-28. <https://doi.org/10.1108/IJES-03-2022-0018>

31. Kamrani Amiri, Meghdad, Shojel Vahid, Hami Mohammad, & Hemmati Moradabadi, Jamshid. (2021). Effect of Participation in Relay Sports on the Quality of Work Life and Job Performance of Relief Workers with the Mediating Role of Professional Ethics: A Case Study of Hogam Competitions in Mazandaran Province, Iran. *SCIENTIFIC JOURNAL OF RESCUE AND RELIEF*, 13(4), 246-254. SID. <https://sid.ir/paper/1007710/en>

32. Multi-part Document BS EN 1846 - Firefighting and rescue service vehicles. URL: <https://doi.org/10.3403/BSEN1846>

33. Fire Service in Japan. Режим доступу: http://www.kaigai-shobo.jp/pdf/Fire_Service_jpn.pdf

34. Morris C., Chander H. The Impact of Firefighter Physical Fitness on Job Performance. A Review of the Factors That Influence Fire Suppression Safety and Success. *Safety.* 2018. Vol. 4(60). P. 4–11. doi: 10.3390/safety4040060

35. Ephraim Suhir (2019). Short note - assessment of the required human capacity factor using flight simulator as an appropriate accelerated test vehicle. *International Journal of Human Factors Modelling and Simulation (IJHFMS)*, Vol. 7, No. 1, 2019. DOI: 10.1504/IJHFMS.2019.102154

36. Röseler, S., Hilbert, M., Hertel, G. et al. Getting the Most Out of Every Training Day: The Influence of Instructors on Self-Regulated Learning During Firefighter Leadership Courses. *Int J Disaster Risk Sci* 15, 332–345 (2024). <https://doi.org/10.1007/s13753-024-00560-y>

37. Skinner T., Kelly V., Boytar A., Peeters G., Rynne S. Aviation Rescue Firefighters physical fitness and predictors of task performance. *J Sci Med Sport.* 2020. Vol. 23(12). P. 1228–1233. doi: 10.1016/j.jsams.2020.05.013.

38. Stevenson R., Siddall A., Turner P., Bilzon J. Implementation of Physical Employment Standards for Physically Demanding Occupations. *Journal of*

Occupational and Environmental Medicine. 2020. Vol. 62(8). P. 647–653. doi: 10.1097/JOM.0000000000001921.

39. Gumieniak R., Shaw J., Gledhill N., Jamnik V. Physical employment standard for Canadian wildland fire fighters; identifying and characterising critical initial attack response tasks. *Ergonomics*. (2018). Vol. 61/10. P. 1299–1310. doi: 10.1080/00140139.2018.1464211

40. OSHA 1910.132. Personal Protective Equipment. General requirements. URL: <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.132>

41. OSHA 1910.133. Personal Protective Equipment. Eye and face protection. URL: <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.133>

42. OSHA 1910.134. Personal Protective Equipment. Respiratory protection. URL: <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.134>

43. OSHA 1910.135. Personal Protective Equipment. Head protection. URL: <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.135>

44. OSHA 1910.136. Personal Protective Equipment. Foot protection. URL: <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.136>

45. BME Fire Trucks. URL: <https://www.bmefire.com/>

46. Оцініть найдивовижніші пожежні машини в світі. URL: <https://ukrautoprom.com.ua/oczinit-najdyvovyzhnishi-pozhezhni-mashyny-v-sviti>

47. Rosenbauer Tigon. URL: <https://www.rosenbauer.com/en/int/rosenbauer-world/vehicles/industrial-vehicles/tigon>

48. A Firefighter's Dream! Meet Big Wind, a Tank With Jet Engines That's a Fire Truck. URL: <https://www.autoevolution.com/news/a-firefighter-s-dream-meet-big-wind-a-tank-with-jet-engines-that-s-a-fire-truck-185011.html>

49. ГПМ-54. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%9F%D0%9C-54>

50. Пожежу на складі боєприпасів у Балаклії загасили. URL: https://lb.ua/society/2017/03/24/362148_pozhar_sklade_boepripasov.html

51. Пожарная машина высокой проходимости ГПМ-54-01. URL: http://armor.kiev.ua/Tanks/Modern/konversia/gpm54/gpm54_01.php

52. Львівський бронетанковий завод передав для потреб армії чотири одиниці гусеничних броньованих пожежних машин ГПМ-54. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-ato/3002588-lvivskij-bronetankovij-peredav-zsuscergovu-partiu-pozeznih-tankiv.html>

53. ПОЖЕЖНИЙ ВСЮДИХІД ВПЛ-149 (ГТ-СМ). URL: <https://bestmodels.ua/ua/catalog/grazhdanskaja-tehnika/avtomobili/avtomobili-1-43/pozharnyivezdehod-vpl-149-gt-sm.htm>

54. Пожежний танк. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D0%B6%D0%B5%D0%B6%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%BA

55. КрАЗ-Шпек. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D1%80%D0%90%D0%97-%D0%A8%D1%80%D0%B5%D0%BA>

56. Наказ МВС України від 12.06.2023 № 480 «Про затвердження змін до Порядку організації службової підготовки осіб рядового і начальницького складу служби цивільного захисту».

57. ДСТУ 8782:2018 Засоби індивідуального захисту. Бронжилети. Класифікація. Загальні технічні умови. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0216774-18#Text>

58. Andronov V.A., Strelets V.M. Operational and technical method of reducing the time of localization by the fire and rescue unit of an emergency situation of an environmental nature with the release of a dangerous chemical substance. *Journal Technogenic and ecological safety*. 2017. Vol-1. P. 8-14.

59. Скоробагатько Т., Єременко С., Пруський А., Савельєв І. Стрілець В., & Сидоренко В. Порівняльний аналіз діяльності газодимозахисників різних вікових груп. *Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека*. 2023. № 1(15). С 41–55. [https://doi.org/10.33269/nvcz.2023.1\(15\).41-55](https://doi.org/10.33269/nvcz.2023.1(15).41-55).

60. Solovyov I.I., Stetsyuk E.I., Strelets V.M. Patterns of air consumption during underwater demining of water areas. *Problems of emergency situations*. 2020. P. 132-144. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4400181>.

61. Strelets V.M., Stetsyuk E.I., Shepelev I.V. Statistical method of substantiating standards for assessing the level of preparedness of pyrotechnicians (on the example of wearing personal protective equipment of a sapper). *Military technical collection*. 2018. Issue 19. 2018. P. 85-93. <https://doi.org/10.33577/2312-4458.19.2018>.

62. Lyovin D., Strelets V., Shevchenko R., Loboichenko V., Divizinyuk M., Strelets V. and Pruskyi A. A dataset on the features of the elimination of explosive objects using a dome-shaped protective device with a load. *Data in Brief*. 2023. Volume 50, October 2023, 109602. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2023.109602>.

63. Gibson, T.D. and Scott, N. (2019), "Views from the Frontline and Frontline methodology: critical reflection on theory and practice", *Disaster*

Prevention and Management, Vol. 28 No. 1, pp. 6-19. <https://doi.org/10.1108/DPM-07-2018-0214>

64. Garnier, E. (2019), "Lessons learned from the past for a better resilience to contemporary risks", *Disaster Prevention and Management*, Vol. 28 No. 6, pp. 786-803. <https://doi.org/10.1108/DPM-09-2019-0303>

65. Olasunkanmi Habeeb Okunola (2019), "Spatial analysis of disaster statistics in selected cities of Nigeria", *International Journal of Emergency Management*, 2019 Vol.15 No.4, pp.299 – 315. <https://doi.org/10.1504/IJEM.2019.104195>

66. Ralf Josef Johanna Beerens (2019), "Does the means achieve an end? A document analysis providing an overview of emergency and crisis management evaluation practice in the Netherlands", *International Journal of Emergency Management*, 2019 Vol.15 No.3, pp.221 – 254. <https://doi.org/10.1504/IJEM.2019.102310>

67. Kayvan Yousefi Mojir; Sofie Pilemalm (2016), "Actor-centred emergency response systems: a framework for needs analysis and information systems development", *International Journal of Emergency Management (IJEM)*, Vol. 12, No. 4, 2016, pp.435 – 456. <https://doi.org/10.1504/IJEM.2016.079844>

68. Willem Treurniet; Kees Boersma; Peter Groenewegen (2019), "Configuring emergency response networks", *International Journal of Emergency Management*, 2019 Vol.15 No.4, pp.316 – 333. <https://doi.org/10.1504/IJEM.2019.104200>

69. David E. Verbitsky (2018), "Quantitative analysis and assessment of intrinsic and extrinsic factors in human-in-the-loop incidents and prevalent early failures", *International Journal of Human Factors Modelling and Simulation*, 2018, 6:2-3, 228-248. <https://doi.org/10.1504/IJHFMS.2018.093208>

70. David Sjoberg and Miguel Inzunza (2022), "Improving emergency preparedness with a live collaboration exercise model for first responders", *International Journal of Emergency Management*, 2022, 17:3-4, 195-216. <https://doi.org/10.1504/IJEM.2022.125152>

71. Marjan Malešič (2021), "Institutional and emergent improvisation in response to disasters in Slovenia", *International Journal of Emergency Management*, 2021, 17:2, 138-153. <https://doi.org/10.1504/IJEM.2021.122932>

72. Akhilesh Barve, Ram Naresh Prasad, and Devendra K. Yadav (2020), "Investigating causal relationship of disaster risk reduction activities in the Indian context", *International Journal of Emergency Management*, 2020, 16:1, 1-21. <https://doi.org/10.1504/IJEM.2020.110105>

73. Liane Okdinawati, Made Irma Dwiputranti, and Raden Adriyani Oktora (2019), "The role and multi parties interaction and coordination mechanism on disaster management", *International Journal of Emergency Management*,

2019, 15:2, 187-204. <https://doi.org/10.1504/IJEM.2019.099380>

74. Стрелец В. М. Многофакторная оценка пожарно-спасательных работ на станциях метрополитена. Проблемы пожарной безопасности. 2004. №15. С. 208 -214.

75. Васильев М. В., Стрелец В. М., Тригуб В. В. Анализ многофакторной модели функционирования системы "спасатель - средства защиты и ликвидации аварии - чрезвычайная ситуация с выбросом опасного химического вещества". Проблемы надзвичайних ситуацій. 2013. № 18. С.22-33. URL: https://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol18/Pns_2013_18_6.pdf

76. Соловйов І. І., Стрілець В. М., Льовін Д. А. Багатофакторна модель підйому водолазом-сапером вибухонебезпечного предмету. Проблеми надзвичайних ситуацій. 2021. № 34. С. 272-294 doi:10.52363/2524-0226-2021-34-20

77. Льовін Д.А., Савельєв І.В., Стрілець В.М. Формування комплексу цілей імітаційної оцінки системи «рятувальник – засоби захисту та забезпечення аварійно-рятувальних робіт – надзвичайна ситуація». Комунальне господарство міст. 2022. № 6(173). <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2022-6-173-148-153>

78. Стрілець В., Скоробогатько Т., Пруський А., Маловик І. Обґрунтування нормативів для оцінювання рівня підготовленості рятувальників до одягання захисного спорядження в комплекті із засобами бронезахисту. // Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація, 2024, випуск 1 (8). С.101-112. DOI: <https://doi.org/10.31731/2524.2636.2024.8.1.101.112>

79. Белюченко Д. Ю., Стрілець В. М., Луценко Т. О., Корчагін П. О., Маловик І. В., Ребров О. В. Обґрунтування нормативів для оцінювання оперативних розгортань в засобах бронезахисту. // Проблеми надзвичайних ситуацій, 2023, випуск 2 (38). – С.25-39. DOI: <https://doi.org/10.52363/2524-0226-2024-39-2>

80. Скоробогатько Т.М., Пруський А.В.1, Маловик І.В., Прокоф'єв М.І., Якіменко М.Л., Середа Д.В. Особливості діяльності газодимозахисників в умовах можливого бойового ураження.// Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека. 2024. № 1(17). – С. 15-28. DOI: <https://doi.org/10.33269/nvcz.2024.1.15-28>

81. Степанчук С.О., Стрілець В.М., Макаров Є.О., Стрілець В.В. Порівняльний кількісний аналіз особливостей гуманітарного розмінування в радіаційно-забрудненій місцевості. // Проблеми надзвичайних ситуацій, 2023, випуск 2 (38). – С.208-223. DOI: <https://doi.org/10.52363/2524-0226-2023-38-14>

82. Маловик І. Розробка математичної моделі підвищення ефективності проведення аварійно-рятувальних робіт в умовах можливого бойового ураження. / І. Маловик, В. Стрілець, С. Степанчук, В. Стрілець, А. Хижняк, О. Вальченко // *Social Development and Security*. – 2024. - № 15 (4). – С. 175-190. DOI: 10.33445/sds.2024.14.5.18

83. Наказ МНС України від 15.10.2008 №741 Методичні рекомендації «Порядок виконання нормативів радіаційного та хімічного захисту особовим складом органів управління та підрозділів МНС»

84. Evans, Roly and Perkins, Dan (2022) "New Conventional EOD and IEDD Competency Standards for Mine Action: Notes on T&EP 0930, 0931, and IMAS 0930," *The Journal of Conventional Weapons Destruction*: Vol. 25 : Iss. 3 , Article 11. Available at: <https://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol25/iss3/11>

85. Dierdra K Bycura. Training Implications for Firefighters through objective Measurement of the Physiological Demands of Firefighter Job Tasks. *Am J Biomed Sci & Res*. 2019 - 3(5). AJBSR.MS.ID.000715. DOI:10.34297/AJBSR.2019.03.00. Available at: <https://biomedgrid.com/pdf/AJBSR.MS.ID.000715.pdf>

86. Hazardous waste operations and emergency response. *Occupational Safety and Health Standards* 1910.120. Available at: https://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=9765

87. NFPA 1500 Standard on Fire Department Occupational Safety and Health Program. 2002 Edition. Available at: <http://www.fsans.ns.ca/pdf/research/nfpa1500.pdf>

88. NFPA 1033: Standard for Professional Qualifications for Fire Investigator. Available at: <http://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards?mode=code&code=1033>

89. Toan, Dang Quang (2015) "Train-the-Trainer Trauma Care Program in Vietnam," *Journal of Conventional Weapons Destruction*: Vol. 19 : Iss. 1 , Article 9. – Available at: <http://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol19/iss1/9>

90. Іванець Г. В. Індивідуальний захист саперів від дії осколків і куль / Г. В. Іванець, Є. І. Стецюк, М. Г. Іванець // *Системи озброєння і військова техніка*. — 2014. — № 4. — С. 21-24.

91. Smith, Andy (2017) "An APT Demining Machine," *Journal of Conventional Weapons Destruction*: Vol. 21: Iss. 2, Article 15. Available at: <http://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol21/iss2/15>

92. Villano JS, Follo JM, Chappell MG, Collins MT Jr. Personal Protective Equipment in Animal Research. *Comp Med*. 2017 Jun 1;67(3):203-214. PMID: 28662749; PMCID: PMC5482512. Available at:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5482512/pdf/cm2017000203.pdf>

93. Стрілець, В., Грицаєнко, М., Соловійов, І., & Камишенцев, Г. (2023). Багатофакторна модель підводного підризу вибухонебезпечного предмету водолазами-саперами ДСНС України. *Social Development and Security*, 13(2), 137-150. Available at: <https://doi.org/10.33445/sds.2023.13.2.12>

94. Стрілець В. Закономірності діяльності рятувальників при проведенні аварійно-рятувальних робіт на станціях метрополітену / Стрілець В., Росоха С., Бородин П. – Харків: НУЦЗУ, КП «Міська друкарня», 2012. – 112 с.

95. Eivazy, H., Malek, M.R. Simulation of natural disasters and managing rescue operations via geospatial crowdsourcing services in tensor space. *Arab J Geosci* 13, 604 (2020). Available at: <https://doi.org/10.1007/s12517-020-05402-x>

96. Мунипов В. М. Ергономика./В. М. Мунипов, В. П. Зинченко. – Логос, 2011. – 356 с.

97. Frozini B.V. On the distribution and power of good-ness-of-fit statistic with parametric applications, "Goodness-of-fit" /Ed. by Revesz P., Sarkadi K, Sen P.K. – Amsterdam-Oxford-New York: North Holland Publ. Comp, 1987, P.123-154.

98. Стрілець, В., Маловик, І., Присяжнюк, В., Степанчук, С., Стрілець, В., & Ребров, О. (2024). Методика визначення параметрів тренувальної спроби для оцінювання контрольної вправи. *Social Development and Security*, 14(3), 219-237. <https://doi.org/10.33445/sds.2024.14.3.15>

99. Митропольский А.К. Техника статистических вычислений – Главная редакция физ.-мат. литературы издательства "Наука", 1971. – 576 с.

100. Халафян А.А. STATISTICA 6 Статистический анализ данных / А.А. Халафян. – 000 «Бином-Пресс», 2007. - 512 с.

101. Горкавий В. К. Статистика : навч. посібник / В. К. Горкавий. Київ : Алерта, 2012. 608 с.

102. Ромакін В. В. Комп'ютерний аналіз даних: Навчальний посібник. — Миколаїв: Вид-во МДГУ ім. Петра Могили, 2006. — 144 с.

103. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. Наука, 1962. 564 с.

References

1. Ukrinform. (2023). More than 95 % of the territory of the exclusion zone of the Chernobyl Nuclear Power Plant can be replaced. *Ukrinform - current news of Ukraine and the world*. Available at: <https://www.ukrinform.ua/rubric-society/3701184-ponad-95-teritorii-zoni-vidcuzenna-caes-moze-buti-zaminovano.html>

2. Khotyn, R. (2023). Insure yourself against the «second Chernobyl» and «monkeys with grenades». What should be known about the «terrorist attack» at the Zaporizhzhia NPP?. *Radio Svoboda*.

Available at:
<https://www.radiosvoboda.org/a/ukrayina-zaporizka-aes-rosiya-yadernyy-terakt-shcho-treba-znaty/32472691.html>

3. M Gudkova, S. (2023). *The threat of using tactical nuclear weapons: will Putin decide to strike*. RFI. Available at: <https://goo.su/Matc>

4. Law of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine on the approval of the Methodological recommendations regarding the work regimes of the personnel of the operative and rescue service of the civil protection units in the means of personal protection in the areas of chemical and radioactive contamination №551. (2009, August 7)

5. Evans, Roly and Perkins, Dan (2022) "New Conventional EOD and IEDD Competency Standards for Mine Action: Notes on T&EP 0930, 0931, and IMAS 0930," *The Journal of Conventional Weapons Destruction*: Vol. 25 : Iss. 3 , Article 11. Available at: <https://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol25/iss3/11>

6. Mathewson, Andro. "Open-Source Research and Mapping of Explosive Ordnance Contamination in Ukraine," *The Journal of Conventional Weapons Destruction*. 2022: Vol. 26 : Iss. 1 , Article 3. <https://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol26/iss1/3>

7. Cottrell, Linsey; Darbyshire, PhD, Eoghan; and Holme Obrestad, Kristin "Explosive Weapons Use and the Environmental Consequences: Mapping Environmental Incidents in Ukraine," *The Journal of Conventional Weapons Destruction*. 2022, Vol. 26 : Iss. 1 , Article 4. <https://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol26/iss1/4>

8. Chrystie, Emily. "Environmental Mainstreaming in Mine Action: A Case Study of Moving Beyond "Do No Harm"," *The Journal of Conventional Weapons Destruction*. 2022, Vol. 27 : Iss. 2 , Article 5.

9. n/a, Anonymous. "Developing National Landmine Clearance Capacity in Ukraine," *The Journal of Conventional Weapons Destruction*. 2021, Vol. 25 : Iss. 1 , Article 9. <https://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol25/iss1/9>

10. Mori K. Occupational health in disasters: Valuable knowledge gained from experience with the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident. *Journal of Occupational Health*. 2019. T. 61, № 6. C. 429–430. <https://doi.org/10.1002/1348-9585.12084>

11. Hignett, S., Hancox, G. and Edmunds Otter, M., "Chemical, biological, radiological, nuclear and explosive (CBRNe) events: Systematic literature review of evacuation, triage and decontamination for vulnerable people", *International Journal of Emergency Services*, 2019, Vol. 8 No. 2, pp. 175-190. doi:10.1017/dmp.2023.148

12. Long, F., Bateman, G. and Majumdar, A., "The impact of fire and rescue service first responders on participant behaviour during chemical, biological,

radiological and nuclear (CBRN)/Hazmat incidents", *International Journal of Emergency Services*, 2020, Vol. 9 No. 3, pp. 283-298. DOI: 10.1108/IJES-06-2019-0027 <https://doi.org/10.1108/IJES-06-2019-0027>

13. Gyllencreutz, L., Carlsson, C.-P., Karlsson, S. and Hedberg, P., "Preparedness for chemical, radiologic and nuclear incidents among a sample of emergency physicians' and general practitioners"—a qualitative study", *International Journal of Emergency Services*, 2023, Vol. 12 No. 2, pp. 161-170. <https://doi.org/10.1108/IJES-07-2022-0032>

14. Stepanchuk S., Strelets V., Makarov Y., Strelets V., (2023). Comparative analysis of the regulations of humanitarian demining in a radiation-contaminated area. *Scientific Journal "Problems of Emergency Situations"*, 38, 208-223. [in Ukrainian].

15. Strelets V., Stetsyuk E., Ivanov E., Shepelev I., (2017). Method of justifying recommendations to the personnel of pyrotechnic units based on the results of simulation of their activities. *Scientific Journal "Problems of Emergency Situations"*, 26, 132-142. [in Ukrainian].

16. Soloviov I., Stetsyuk E., Strelets V., (2020). Regularities of air consumption during underwater demining of water areas. *Scientific Journal "Problems of Emergency Situations"*, 32, 132-144. [in Ukrainian].

17. Lyovin, D., Strelets, V., Shevchenko, R., Loboichenko, V., Divizynuk, M., Strelets, V., & Pruskyi, A. (2023). A dataset on the features of the elimination of explosive objects using a dome-shaped protective device with a load. Data in brief, 50, 109602. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2023.109602>

18. Law of Ukraine. (2008). «On the approval of the Radiation Safety Rules when carrying out work in the exclusion zone and the zone of unconditional (mandatory) resettlement», 179/276. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0754-08#Text>

19. NFPA 1033: Standard for Professional Qualifications for Fire Investigator. URL: <http://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards?mode=code&code=1033>

20. Wikipedia contributors. (2024, March 30). Texas City refinery explosion. In *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. Retrieved 06:56, April 9, 2024, from https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Texas_City_refinery_explosion&oldid=1216382594

21. OSHA 1910.156 Fire brigades. URL: https://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=9810

22. Alps, B. J., Devoy, P. W., & Waterfall, J. F. (1976). The evaluation of the novel pressor activity of gamma-piperidinobutyramide (WY 20051, DF480). *British journal of pharmacology*, 56(2), 179–186. <https://doi.org/10.1111/j.1476-5381.1976.tb07440.x>

23. Gumieniak, R. J., Shaw, J., Gledhill, N., & Jamnik, V. K. (2018). Physical employment standard for Canadian wildland fire fighters; identifying and

characterising critical initial attack response tasks. *Ergonomics*, 61(10), 1299–1310. <https://doi.org/10.1080/00140139.2018.1464211>

24. Strelec V., Stecuk, E., Shepelev, I. (2018). The statistical method of justifying the standards for assessing the level of preparedness of pyrotechnics (on the example of dressing the sapper's personal protective equipment). *Military Technical Collection*, (19), 85–93. <https://doi.org/10.33577/2312-4458.19.2018.85-93>

25. Strelec V., Vasil`ev M., Trigub V. (2014). Development of standards for assessing preparedness rescuers to work together PPE. *Scientific Journal "Problems of Emergency Situations"*, 20, 124–131. [in Ukrainian].

26. Statistical data processing. Criteria for deviation from normal distribution (1997). DSTU ISO 5479:2009 from 01 July 2001. Kyiv: Derzhstandart Ukraine [in Ukrainian].

27. Frozini B. (1987). On the distribution and power of good-ness-of-fit statistic with parametric applications, "Goodness-of-fit" /Ed. by Revesz P., Sarkadi K, Sen P.K. – Amsterdam-Oxford-New York: North Holland Publ. Comp, 123–154.

28. Harkavyi V. (2012). Statistics. Alerta. [in Ukrainian].

29. Romakin V. (2006). Kompiuternyi analiz danykh. Mykolaiv: MDHU im. Petra Mohyly [in Ukrainian].

30. Venttsel, E. (1962). Teoriya veroyatnostey [Probability theory]. Nauka.

31. Soloviov I., Strelets V., Bliashenko O., Servatiuk 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. [https://doi.org/10.33269/nvcs.2022.2\(14\).108-121](https://doi.org/10.33269/nvcs.2022.2(14).108-121)

32. Kovalev, P. A., Strelets, V.M., Neredkov, R. A. (2006). Features of justification of comprehensive standards for practical lessons. *Scientific Journal "Problems of Emergency Situations"*, 4, 129–133. [in Ukrainian].

33. Fire Service in Japan. http://www.kaigai-shobo.jp/pdf/Fire_Service_jpn.pdf

34. Morris, Cody E., and Harish Chander. 2018. "The Impact of Firefighter Physical Fitness on Job Performance: A Review of the Factors That Influence Fire Suppression Safety and Success" *Safety* 4, no. 4: 60. <https://doi.org/10.3390/safety4040060>

35. Ephraim Suhir (2019). Short note - assessment of the required human capacity factor using flight simulator as an appropriate accelerated test vehicle. *International Journal of Human Factors Modelling and Simulation (IJHFMS)*, Vol. 7, No. 1, 2019. DOI: 10.1504/IJHFMS.2019.102154

36. Röseler, S., Hilbert, M., Hertel, G. et al. Getting the Most Out of Every Training Day: The Influence of Instructors on Self-Regulated Learning

During Firefighter Leadership Courses. *Int J Disaster Risk Sci* 15, 332–345 (2024). <https://doi.org/10.1007/s13753-024-00560-y>

37. Skinner T., Kelly V., Boytar A., Peeters G., Rynne S. (2020). Aviation Rescue Firefighters physical fitness and predictors of task performance. *J Sci Med Sport*. Vol. 23(12). P. 1228–1233. doi: 10.1016/j.jsams.2020.05.013.

38. Stevenson R., Siddall A., Turner P., Bilzon J. Implementation of Physical Employment Standards for Physically Demanding Occupations. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*. 2020. Vol. 62(8). P. 647–653. doi: 10.1097/JOM.0000000000001921.

39. Gumieniak R., Shaw J., Gledhill N., Jamnik V. (2018) Physical employment standard for Canadian wildland fire fighters; identifying and characterising critical initial attack response tasks. *Ergonomics*. Vol. 61/10. P. 1299–1310. doi: 10.1080/00140139.2018.1464211

40. OSHA 1910.132. Personal Protective Equipment. General requirements. URL: <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.132>

41. OSHA 1910.133. Personal Protective Equipment. Eye and face protection. URL: <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.133>

42. OSHA 1910.134. Personal Protective Equipment. Respiratory protection. URL: <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.134>

43. OSHA 1910.135. Personal Protective Equipment. Head protection. URL: <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.135>

44. OSHA 1910.136. Personal Protective Equipment. Foot protection. URL: <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.136>

45. Fire Trucks. Retrieved August 24, 2024, from <https://www.bmefire.com/>

46. Ukrauprom (2020, November 10). «Rate the most amazing fire trucks in the world» URL: <https://ukrauprom.com.ua/oczniti-najdyvovyzhnishi-pozhezhni-mashyny-v-sviti>

47. Rosenbauer. «TIGON/ Radical Perfection» Retrieved August 24, 2024, from URL: <https://www.rosenbauer.com/en/int/rosenbauer-world/vehicles/industrial-vehicles/tigon>

48. Autoevolution. «A Firefighter's Dream! Meet Big Wind, a Tank With Jet Engines That's a Fire Truck» Retrieved August 24, 2024, from URL: <https://www.autoevolution.com/news/a-firefighter-s->

[dream-meet-big-wind-a-tank-with-jet-engines-that-s-a-fire-truck-185011.html](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%9F%D0%9C-54)

49. Wikipedia. «GPM-54» Retrieved August 24, 2024, from URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%9F%D0%9C-54>

50. Lb.ua. «The fire at the ammunition warehouse in Balaklia was completely extinguished» Retrieved August 24, 2024, from URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%9F%D0%9C-54>

51. Armor.kiev.ua. «High cross-country fire truck GPM-54-01» Retrieved August 24, 2024, from URL: http://armor.kiev.ua/Tanks/Modern/konversia/gpm54/gpm54_01.php

52. Ukrinform. «The Lviv Armored Plant handed over four units of GPM-54 tracked armored fire trucks for the needs of the army» Retrieved August 24, 2024, from URL: https://www.ukrinform.ua/rubric-ato/3002588-lvivskij-bronetankovij-peredav-zsu-cergovu-partiu-pozeznih-tankiv.html#google_vignette

53. Bestmodels. «VPL-149 FIRE TRUCK» Retrieved August 24, 2024, from URL: https://www.ukrinform.ua/rubric-ato/3002588-lvivskij-bronetankovij-peredav-zsu-cergovu-partiu-pozeznih-tankiv.html#google_vignette

54. Wikipedia. «Fire tank». Retrieved August 24, 2024, from URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D0%B6%D0%B5%D0%B6%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%BA

55. Wikipedia. «KrAZ-Shrek». Retrieved August 24, 2024, from URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D1%80%D0%90%D0%97-%D0%A8%D1%80%D0%B5%D0%BA>

56. On the approval of changes to the Procedure for the Organization of Service Training of Private and Executive Staff of the Civil Protection Service №480 (2023, June 12). *Vidomosti Verkhovnoyi Rady* [in Ukrainian].

57. *Personal protective equipment. Body armor. Classification. General technical conditions.* (2018). DSTU 8782:2018 from 17th June 2018. Kyiv: Derzhstandart Ukraine [in Ukrainian].

58. Andronov V.A., Strelets V.M. (2017). Operational and technical method of reducing the time of localization by the fire and rescue unit of an emergency situation of an environmental nature with the release of a dangerous chemical substance. *Journal Technogenic and ecological safety*, 1, 8-14. [in Ukrainian].

59. Skorobahatko, T., Yeremenko, S., Pruskyi, A., Saveliev, I., Стрілець, В., & Sydorenko, V. (2023). Comparative analysis of the activity of gas and smoke detectors of different age groups. *Naukovyi visnyk: Tsyvilnyi zakhyst ta pozhezhna bezpeka*, 1(15), 41-55 [in Ukrainian].

60. Solovyov I.I., Stetsyuk E.I., Strelets V.M. (2020). Patterns of air consumption during underwater demining of water areas. *Problems of emergency situations*, 132-144. DOI: 10.5281/zenodo.4400181. [in Ukrainian].

61. Strelets V.M., Stetsyuk E.I., Shepelev I.V. (2018). Statistical method of substantiating standards for assessing the level of preparedness of pyrotechnicians (on the example of wearing personal protective equipment of a sapper). *Military technical collection*, 19, 85-93. DOI: 10.33577/2312-4458.19.2018. [in Ukrainian].

62. Lyovin D., Strelets V., Shevchenko R., Loboichenko V., Divizinyuk M., Strelets V. and Pruskyi A. (2023). A dataset on the features of the elimination of explosive objects using a dome-shaped protective device with a load. *Data in Brief*, 50, <https://doi.org/10.1016/j.dib.2023.109602> [in Ukrainian].

63. Gibson, T.D. and Scott, N. (2019). Views from the Frontline and Frontline methodology: critical reflection on theory and practice, *Disaster Prevention and Management*, 28(1), 6-19. <https://doi.org/10.1108/DPM-07-2018-0214>

64. Garnier, E. (2019). Lessons learned from the past for a better resilience to contemporary risks, *Disaster Prevention and Management*, 28 (6), 786-803. <https://doi.org/10.1108/DPM-09-2019-0303>

65. Olasunkanmi Habeeb Okunola (2019). Spatial analysis of disaster statistics in selected cities of Nigeria. *International Journal of Emergency Management*, 15(4), 299 – 315. <https://doi.org/10.1504/IJEM.2019.104195>

66. Ralf Josef Johanna Beerens (2019). Does the means achieve an end? A document analysis providing an overview of emergency and crisis management evaluation practice in the Netherlands. *International Journal of Emergency Management*, 15 (3), 221 – 254. <https://doi.org/10.1504/IJEM.2019.102310>

67. Kayvan Yousefi Mojir; Sofie Pilemalm (2016). Actor-centred emergency response systems: a framework for needs analysis and information systems development. *International Journal of Emergency Management (IJEM)*, 12 (4), pp.435 – 456. <https://doi.org/10.1504/IJEM.2016.079844>

68. Willem Treurniet; Kees Boersma; Peter Groenewegen (2019). Configuring emergency response networks. *International Journal of Emergency Management*, 15 (4), 316 – 333. <https://doi.org/10.1504/IJEM.2019.104200>

69. David E. Verbitsky (2018). Quantitative analysis and assessment of intrinsic and extrinsic factors in human-in-the-loop incidents and prevalent early failures. *International Journal of Human Factors Modelling and Simulation*, 6 (2-3), 228-248. <https://doi.org/10.1504/IJHFMS.2018.093208>

70. David Sjoberg and Miguel Inzunza (2022). Improving emergency preparedness with a live collaboration exercise model for first responders. *International Journal of Emergency Management*, 17 (3-4), 195-216. <https://doi.org/10.1504/IJEM.2022.125152>

71. Marjan Malešič (2021). Institutional and emergent improvisation in response to disasters in Slovenia. *International Journal of Emergency Management*, 17(2), 138-153. <https://doi.org/10.1504/IJEM.2021.122932>

72. Akhilesh Barve, Ram Naresh Prasad, and Devendra K. Yadav (2020). Investigating causal relationship of disaster risk reduction activities in the Indian context. *International Journal of Emergency Management*, 16 (1), 1-21. <https://doi.org/10.1504/IJEM.2020.110105>

73. Liane Okdinawati, Made Irma Dwiputranti, and Raden Adriyani Oktora (2019). The role and multi parties interaction and coordination mechanism on disaster management. *International Journal of Emergency Management*, 15(2), 187-204. <https://doi.org/10.1504/IJEM.2019.099380>

74. Strelets, V. (2004). Multifactorial assessment of fire and rescue operations at metro stations. *Fire safety issues*, 15, 208-214. [in Ukrainian].

75. Vasiliev, M.V., Strelets, V.M., Tryhub, V.V. (2013). Analysis of a multifactorial model of the functioning of the system "rescuer - means of protection and liquidation of an accident - emergency situation with the release of a hazardous chemical substance. *Problemy nadzvychainykh sytuatsii*, 18, 22-33. [in Ukrainian].

76. Soloviov, I. I., Strilets, V. M., Lovin, D. A. (2021). A multifactorial model of lifting an explosive object by a diver-sapper. *Problemy nadzvychainykh sytuatsii*, 34, 272-294. doi:10.52363/2524-0226-2021-34-20 [in Ukrainian].

77. Lovin, D.A., Saveliyev, I.V., Strilets, V.M. (2022). Formation of a set of goals for the simulation evaluation of the "rescuer - means of protection and

provision of emergency and rescue operations - emergency situation. *Komunalne hospodarstvo mist*, 6(173). <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2022-6-173-148-153> [in Ukrainian].

78. Strilets, V., Skorobohatko, T., Pruskyi, A., Malovyk, I. (2024). Justification of standards for assessing the level of readiness of rescuers to wear protective equipment complete with body armor. *Nadzvychaini sytuatsii: poperedzhennia ta likvidatsiia*, 1(8), 101-112. <https://doi.org/10.31731/2524.2636.2024.8.1.101.112> [in Ukrainian].

79. Beliuchenko, D. Yu., Strilets V. M., Lutsenko T. O., & Rebrov O. V. (2023). Justification of standards for evaluating operational deployments in means of armor protection. *Nadzvychaini sytuatsii: poperedzhennia ta likvidatsiia*, 2(38), 25-39. DOI: <https://doi.org/10.52363/2524-0226-2024-39-2> [in Ukrainian].

80. Skorobahatko T.M., Pruskyi A.V.1, Malovyk I.V., & Sereda D.V. (2024). Peculiarities of the activity of gas and smoke detectors in the conditions of a possible combat damage. *Naukovyi visnyk: Tsyvilnyi zakhyst ta pozhezhna bezpeka*, 1(17), 15-28. DOI: <https://doi.org/10.33269/nvcs.2024.1.15-28> [in Ukrainian].

81. Stepanchuk S., Strelets V., Makarov Y., Strelets V., (2023). Comparative analysis of the regulations of humanitarian demining in a radiation-contaminated area. *Scientific Journal "Problems of Emergency Situations"*, 38, 208-223 [in Ukrainian].

82. Malovyk, I., Strilets, V., Stepanchuk, S., & Valchenko, O. (2024). Development of a mathematical model for increasing the efficiency of emergency rescue operations in conditions of possible combat damage. *Social Development and Security*, 15 (4), 175-190. DOI: 10.33445/sds.2024.14.5.18 [in Ukrainian].

83. On the approval of the Methodological recommendations "The procedure for the implementation of radiation and chemical protection standards by the personnel of management bodies and units of the Ministry of Emergency Situations №741 (2008, October 15). *Vidomosti Verkhovnoyi Rady Ukrainy*, [in Ukrainian].

84. Evans, Roly and Perkins, Dan (2022). New Conventional EOD and IEDD Competency Standards for Mine Action: Notes on T&EP 0930, 0931, and IMAS 0930. *The Journal of Conventional Weapons Destruction*, 25 (3). Retrieved from: <https://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol25/iss3/11/>

85. Dierdra K Bycura (2019). Training Implications for Firefighters through objective Measurement of the Physiological Demands of Firefighter Job Tasks. *Am J Biomed Sci & Res*, 3(5). DOI:10.34297/AJBSR.2019.03.00. Retrieved from:

<https://biomedgrid.com/pdf/AJBSR.MS.ID.000715.pdf>

86. Hazardous waste operations and emergency response. *Occupational Safety and Health Standards 1910.120*. Retrieved from: https://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=9765

87. NFPA 1500 Standard on Fire Department Occupational Safety and Health Program. 2002 Edition. Available at: <http://www.fsans.ns.ca/pdf/research/nfpa1500.pdf>

88. NFPA 1033: Standard for Professional Qualifications for Fire Investigator. Available at: <http://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards?mode=code&code=1033>

89. Toan, Dang Quang (2015). Train-the-Trainer Trauma Care Program in Vietnam. *Journal of Conventional Weapons Destruction*, 19. Retrieved from: <http://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol19/iss1/9>

90. Ivanets, H. V., Stetsiuk, Ye. I., Ivanets, M. H. (2014). Individual protection of sappers against shrapnel and bullets. *Systemy ozbroiennia i viiskova tekhnika*, 4, 21-24. [in Ukrainian].

91. Smith, Andy (2017). An APT Demining Machine. *Journal of Conventional Weapons Destruction*, 21. Retrieved from: <http://commons.lib.jmu.edu/cisr-journal/vol21/iss2/15>

92. Villano JS, Follo JM, Chappell MG, Collins MT Jr. (2017). Personal Protective Equipment in Animal Research. *Comp Med*, 67(3):203-214. Retrieved from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5482512/pdf/cm2017000203.pdf>

93. Strelets, V., Hrytsaienko, M., Soloviov, I., & Kamyshtentsev, G. (2023). Multifactorial model of

underwater detonation of the explosive object by divers-sappers of the State Emergency Service of Ukraine. *Social Development and Security*, 13(2), 137-150. <https://doi.org/10.33445/sds.2023.13.2.12>

94. Strilets, V., Rosokha, S., Borodych, P. (2012). *Patterns of rescuers' activities during emergency rescue operations at subway stations*. Kharkiv: NUTsZU [in Ukrainian].

95. Eivazy, H., Malek, M.R. (2020). Simulation of natural disasters and managing rescue operations via geospatial crowdsourcing services in tensor space. *Arab J Geosci* 13, 604. <https://doi.org/10.1007/s12517-020-05402-x>

96. Munypov, V. M., Zynchenko, V. P. (2011). *Erhonomika. Logos* [in Ukrainian].

97. Frozini B.V. (1987). On the distribution and power of good-ness-of-fit statistic with parametric applications. *Amsterdam-Oxford-New York: North Holland Publ. Comp*, 123-154.

98. Strilets, V., Malovyk, I., Prysiazniuk, V., & Rebrov, O. (2024). The method of determining the parameters of a training attempt for evaluating a control exercise. *Social Development and Security*, 14(3), 219-237. <https://doi.org/10.33445/sds.2024.14.3.15>

99. Mytropolskyi A.K. (1971). *Statistical computing technique*. Nauka [in Ukrainian].

100. Khalafian, A.A. (2007). *Statistical data analysis*. Bynom-Press [in Ukrainian].

101. Horkavyi, V. K. (2012). *Statystyka*. Kyiv: Alerta [in Ukrainian].

102. Romakin, V. V. (2006). *Computer data analysis*. Mykolaiv: Vyd-vo MDHU im. Petra Mohyly [in Ukrainian].

103. Venttsel, E. (1962). *Teoriya veroyatnostey [Probability theory]*. Nauka.

Маловик Ігор Вікторович – канд. техн. наук, головний інспектор відділу нормативної та ліцензійної роботи управління пожежної безпеки Департаменту запобігання надзвичайним ситуаціям апарату ДСНС, Державна служба України з надзвичайних ситуацій, (вул. О. Гончара, буд. 55 м. Київ).

ID ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-2319-9730> E-mail: ivmal132@gmail.com

Степанчук Сергій Олександрович – викладач, Національний університет цивільного захисту України, (вул. Чернишевська, 94, Харків, Харківська область, Україна).

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6618-4119> E-mail: stepanchukdsns@gmail.com

Стрілець Валерій Вікторович – канд. техн. наук, International humanitarian organization The Halo Trust, Ukraine.

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1913-7878> E-mail: v.strelec.brand@gmail.com

Хижняк Андрій Анатолійович – начальник, PhD, ГУ ДСНС України в Полтавській області, (вул. Решетилівська 26/1, 36007, м. Полтава, Україна).

E-mail: poltava@dsns.gov.ua

DEVELOPMENT OF THE METHOD FOR INCREASING THE EFFICIENCY OF PERFORMING EMERGENCY AND RESCUE WORK IN CONDITIONS OF POSSIBLE COMBAT INJURY

Purpose. The purpose of the study is to develop a methodology for increasing the efficiency of emergency rescue operations by rescuers in conditions of possible combat damage.

Methods. Is to assess the quality indicators of the functioning of the system “rescuer - means of protection and provision of emergency rescue operations - emergency situation with the possibility of combat damage” with a given level of significance based on the results of physical modeling of emergency rescue operations in conditions of possible combat damage by the enemy with further substantiation of operational and technical recommendations to rescuers.

Results. Consists in developing and testing operational and technical recommendations in accordance with the laws of reducing the time of operational activities of rescuers, which are obtained based on the results of physical modeling of emergency rescue operations, and involves the sequential implementation of five procedures, namely: – determination of limitations that are characteristic of emergency rescue operations in conditions of possible combat damage; – assessment of the quality indicators of the functioning of the system “rescuer – means of protection and provision of emergency rescue operations – emergency situation with the possibility of combat damage” based on the results of physical modeling of personnel actions; – obtaining functional dependencies of the quality indicators of emergency rescue operations in conditions of possible combat damage from the factors selected for analysis; – justification of operational and technical recommendations; – selection of recommendations for implementation in regulatory documents based on the results of statistical assessments of how significant the effectiveness of their implementation is.

Novelty. The first time (scientific novelty) a methodology has been developed to increase the efficiency of emergency rescue operations by rescuers in conditions of possible combat damage, which is based on a mathematical model of increasing the efficiency of emergency rescue operations in conditions of possible combat damage.

Practical significance. Development of practical recommendations, for example, on improving the effectiveness of rescuer training.

Key words: emergency and rescue operations, effectiveness, combat damage, methodology, experiment, simulation/

Ihor Malovyk – PhD in Technical Sciences, Chief Inspector of the Department of Regulatory and Licensing Activities, Fire Safety Directorate, Department for Emergency Prevention, Headquarters of the State Emergency Service of Ukraine (55 O. Honchara St., Kyiv, Ukraine).

ID ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-2319-9730>

E-mail: ivmal132@gmail.com

Serhii Stepanchuk – Lecturer, National University of Civil Protection of Ukraine (94 Chernyshevskaya St., Kharkiv, Kharkiv Oblast, Ukraine).

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6618-4119>

E-mail: stepanchukdsns@gmail.com

Valerii Strilets – PhD in Technical Sciences, International Humanitarian Organization *The HALO Trust*, Ukraine.

E-mail: v.strelec.brand@gmail.com

Andrii Khyzhniak – Head, PhD, Main Department of the State Emergency Service of Ukraine in Poltava Oblast (26/1 Reshetylivska St., 36007, Poltava, Ukraine).

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1913-7878>

E-mail: poltava@dsns.gov.ua

УДК 66.013:614.84; 66.013:614.83

[https://doi.org/10.36910/3083-6255/1\(1\).2025.83-92](https://doi.org/10.36910/3083-6255/1(1).2025.83-92)

О. М. Нуянзін

ДОСЛІДЖЕННЯ ШВИДКОСТІ РУХУ МАЛОМОБІЛЬНИХ ГРУП НАСЕЛЕННЯ У ЗАХИСНИХ СПОРУДАХ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ

Мета. З метою визначення часу входу та виходу із захисної споруди цивільного захисту було враховано, що існуючі споруди не були пристосовані до потреб з потреб осіб з інвалідністю та інших маломобільних груп населення. Було проведено комп'ютерне моделювання спуску та підйому за різних умов та складу груп. Для цього створено приміщення складної будови, щоб врахувати всі особливості руху людей в потоці.

Методика. Для розрахунку часу спуску до захисної споруди цивільного захисту та виходу назовні було обрано метод розрахунку індивідуально-потокowego руху людського потоку, що в порівнянні із спрощеною аналітичною моделі руху людського потоку, враховує неоднорідність потоку із різними групами мобільності та площею проекції людини.

Результати. З метою отримання опорних величин було проведено базові обчислювальні експерименти. Габаритні розміри та граничні умови шляхів евакуації приймаємо для базового обчислювального експерименту було обрано відповідно до вимог норм.

Наукова новизна. Під час моделювання спуску та підйому за максимально-допустимих відхилень від норм проектування для шляхів евакуації час руху маломобільної групи населення збільшився і склав на 15 та 22 с більше від базового експерименту відповідно. Під час моделювання використання розумних пристосувань час руху зріс майже вдовічі. Це свідчить про те, що використання розумних пристосувань та додаткового обладнання хоча і підвищує зручність пересування маломобільної групи населення, але суттєво збільшує час спуску та підйому.

Практична цінність. Дослідження підкреслює необхідність інтеграції принципів адаптивного проектування в укриття цивільного захисту, щоб збалансувати доступність та ефективність евакуації для вразливих груп населення.

Ключові слова: обчислювальний експеримент, маломобільні групи населення, безпека, евакуація, швидкість, безбар'єрність, захисна споруда цивільного захисту.

Вступ.

В умовах сьогодення усі громадські, державні та інші організації України мають забезпечувати виконання рішень Ради безбар'єрності при Президентіві України [1].

У більшості випадків вимоги норм для громадських, виробничих та житлових будівлях та спорудах в період проектування та будівництва в ХХ столітті не відповідають чинним вимогам норм та вимогам для доступності маломобільної групи населення (далі – МГН). Евакуація осіб з інвалідністю різних груп мобільності часто обмежені жорсткими вимогами для шляхів евакуації у захисних спорудах цивільного захисту та спорудах подвійного призначення (далі – споруди ЦЗ) у разі виникнення надзвичайної ситуації їх залишення. Невиконання вимог ширини шляхів евакуації або відсутності зовнішніх та внутрішніх пандусів наражає на небезпеку осіб з інвалідністю та унеможливує їх захист у разі ракетного обстрілу. Тому слід в повному обсязі прогнозувати забезпечення доступності та відповідності шляхів евакуації вимогам норм [2, 3].

У основному приміщенні для укриття сховищ та СПП із захисними властивостями сховищ громадських будівель (крім закладів освіти) та житлових будинків необхідно передбачати відокремлену зону для осіб з інвалідністю (за необхідністю із супроводжуючими) із розрахунку 10% від загальної місткості захисної споруди або СПП. У залежності від призначення будівель та споруд, які знаходяться поряд із захисною спорудою та СПП, перебувають внаслідок ракетного обстрілу наступні особи з інвалідністю в залежності від групи мобільності. Таким чином, існує проблема щодо швидкої та безпечної евакуації МГН з даних споруд у залежності від конфігурації та пристосованості приміщень.

Аналіз останніх досягнень та публікацій.

Об'єкти фонду захисних споруд ЦЗ повинні забезпечувати доступність та безпеку МГН відповідно до вимог [1-3], у тому числі з урахуванням мобільності осіб з інвалідністю різних категорій та їхньої чисельності. У більшості випадків пристосування приміщень будівель під споруди подвійного призначення (далі –

СПП) обираються паркінги, підвальні приміщення будівель освітніх закладів та інших будівель та споруд. Внаслідок чого висота приміщень існуючих споруд ЦЗ може вварюватися від 2,3 до 4,8 м. Проте, нормативні документи не можуть врахувати особливості руху маломобільної групи населення з об'єктів складної конфігурації.

В роботі [4] розглянуто сучасний стан питання евакуації маломобільних груп населення з висотних житлових будинків при пожежі. Обґрунтована можливість безпечної самостійної евакуації при пожежі маломобільних груп населення з використанням пожежних ліфтів. Проведений математичний та графічний розрахунок часу евакуації людей за допомогою програмного комплексу Pathfinder з використанням (без використання) пожежних ліфтів. Надані пропозиції щодо евакуації маломобільних груп населення з висотних житлових будинків, але не розглянуто особливості споруд ЦЗ.

У дослідженні [5] розглянуто проблеми евакуації маломобільних груп населення з громадських будівель у разі виникнення пожежі. Зазначено, що у разі пожежі при спрацювання систем пожежної сигналізації ліфти, у тому числі пожежі, ескалатори, травіатори, повинні працювати в режимі «пожежа». Це означає, що ліфти автоматично при спрацюванні пожежної сигналізації опускаються на перший поверх, двері відкриваються, а управління з кабіни ліфта блокуються. Ескалатори та травіатори при цьому зупиняються. Але не враховано використання розумних пристосувань.

Відповідно до аналізу, проведеного в роботі [6], існуючі стандарти [2-3] не містять достатніх вказівок для розрахунків евакуації з врахуванням різних сценаріїв потоків людей за участю осіб різних груп мобільності. У реальних обставинах ми стикаємося з різним відсотковим співвідношенням людей різних груп мобільності або немобільних осіб, які не можуть рухатися без допомоги. Ці нормативні документи не містять достатньо необхідних рекомендацій для подібних сценаріїв, особливо для об'єктів з масовим перебуванням людей, де присутні немобільні особи. Але дана у даній роботі недостатня увага приділена спорудам ЦЗ та

використанню спеціальних допоміжних пристроїв.

В роботі [7] проаналізовано сучасний стан щодо дослідження евакуації змішаного потоку людей з наявністю в ньому осіб різних груп мобільності. Розроблено проект методики та проведено експериментальні дослідження евакуації змішаного потоку людей різних груп мобільності. Розглянуто варіанти формувань людських потоків з наявністю в них маломобільних груп населення М3 та М4 з різними відсотковими співвідношеннями. Але враховано було лише умови, коли виконано всі вимоги чинних нормативів.

Щодо доступності та безпеки маломобільних груп населення на станціях метрополітенів, як споруди подвійного призначення, доцільно дотриманням вимог [8-10]. А загалом детальні рекомендації щодо пристосування споруд ЦЗ представлені у роботі [11].

Мета статті (постановка завдання).

Метою роботи є оцінювання часу, руху маломобільної групи населення при виконанні та відхиленнях від норм стандартів, а також застосуванні допоміжних засобів. Задачі:

1. Провести оцінювання часу входу та виходу зі споруди ЦЗ, що повністю відповідає вимогам норм безбар'єрності.
2. Провести оцінювання часу входу та виходу зі споруди ЦЗ за максимально-допустимих відхилень від норм проектування для шляхів евакуації.
3. Провести оцінювання часу входу та виходу зі споруди ЦЗ при використанні розумних пристосувань або додаткового обладнання (ліфти або підйомники).

Виклад основного матеріалу.

Перед початком моделювання процесу евакуації задають схему евакуаційних шляхів у будівлі. Всі шляхи поділяються на евакуаційні ділянки довжиною a та шириною b . Довжина та ширина кожної ділянки шляху евакуації для будівель, які проектує, приймають згідно з проектом, а для побудованих – за фактичним значенням. Довжина шляху сходовими маршами вимірюють за довжиною маршруту. Довжина шляху в дверному прорізі приймається рівній нулю. Евакуаційні ділянки можуть бути горизонтальні та похилі (сходи вниз, сходи вверх і пандус).

Під час розрахунку за габарити людини в плані визначають площу її горизонтальної проекції згідно з [2]. Задаються координати кожної людини хід – відстань від центра проекції до кінця евакуаційної ділянки, на якій вона знаходиться [2].

Координати кожної людини x_i у початковий момент часу задаються відповідно до схеми розміщення людей у приміщеннях (робочі місця, місця для глядачів, спальні місця тощо). У випадку відсутності таких даних, наприклад для магазинів, виставкових залів тощо, допустимо розміщувати людей рівномірно по всій площі приміщення з урахуванням розміщення технологічного обладнання.

Для визначення часу входу та виходу зі споруди ЦЗ необхідно врахувати, що існуючі споруди цивільного ЦЗ не були пристосовані до потреб з потреб осіб з інвалідністю та інших маломобільних груп населення було проведено комп'ютерне моделювання спуску та підйому за різних умов та складу груп.

Було створено приміщення складної будови для врахування всіх особливостей руху людей в потоці. На рисунку 1. представлено схематичне зображення приміщення, що створено на основі реальної споруди ЦЗ.

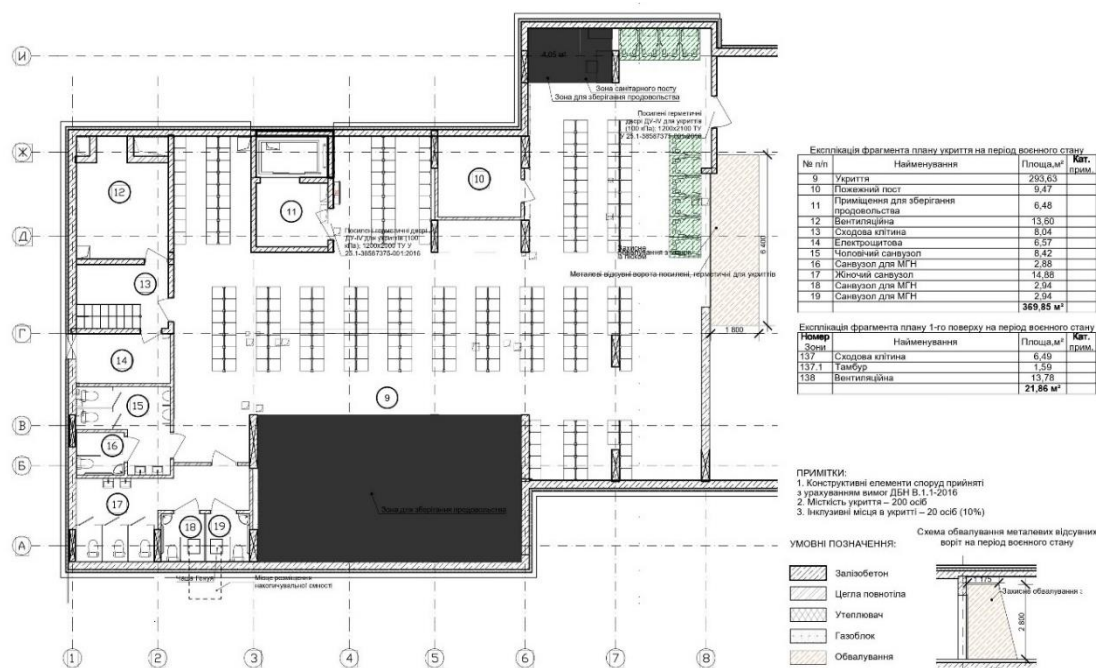


Рис. 1. Схема приміщення споруди ЦЗ.

Вихідні дані для розрахунків:

Кількість місць захисної споруди або СПП – до 200 осіб.

Кількість місць для МГН з загальної кількості – 1 – 20 осіб.

Було прийнято умови від максимально важких до полегшених для розрахунку виходу (евакуації) та спуску, а саме: кількість осіб з інвалідністю групи мобільності М4 – 1 – 10 осіб та 1 – 10 осіб з інвалідністю груп мобільності М1-М4.

Для розрахунку часу спуску до захисної споруди цивільного захисту та

евакуації назовні необхідно обрати метод розрахунку індивідуально-потокowego руху людського потоку, в порівнянні із спрощеною аналітичною моделі руху людського потоку, він враховує неоднорідність людського потоку із різними групами мобільності та площею проекції людини. Спрощена аналітична модель руху людського потоку розраховує час евакуації тільки з однією групою мобільності. У спрощеній аналітичній моделі руху людського потоку не враховано поєднання різних груп мобільності із різними характеристиками,

яке унеможливилює в умовах сьогодення розрахунок часу евакуації з поєднанням різних груп мобільності за спрощеною аналітичною моделлю руху.

В даному випадку передбачено знаходження осіб групи мобільності М1, осіб з інвалідністю груп мобільності М1-М4.

Спрощена аналітична модель руху людського потоку. Розрахункова тривалість евакуації людей (t_p) із приміщень і будівель встановлюється за розрахунком тривалості руху одного чи декількох людських потоків через евакуаційні виходи від найвіддаленіших місць розташування людей.

Під час розрахунку весь шлях руху людського потоку поділяється на ділянки (прохід, коридор, дверний проріз, сходовий марш, тамбур) завдовжки l_i і завширшки b_i .

Початковими ділянками є проходи між робочими місцями, обладнанням, рядами крісел тощо. Під час визначення розрахункового часу евакуації людей довжину і ширину кожної ділянки шляху евакуації для будівель, які проектується, приймають згідно з проектом, а для побудованих - за фактичним значенням. Довжину шляху сходовими маршами, а також по пандусах вимірюють по довжині маршру. Довжину шляху в дверному прорізі приймають рівній нулю. Проріз, розташований у стіні завтовшки більше ніж 0,7 м, а також тамбур слід вважати самостійними ділянками горизонтального шляху, що мають кінцеву довжину l_i .

Розрахункову тривалість евакуації людей (t_p) визначають як суму тривалість руху людського потоку по окремих ділянках шляху (t_i) за формулою:

$$t_p = t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_i \quad (1)$$

де: t_1 – тривалість руху людського потоку на першій (початковій) ділянці, що найбільш віддалена від евакуаційного виходу, хв;

$t_2 + t_3 + \dots + t_i$ – тривалість руху людського потоку на кожній із наступних після першої ділянки шляху, хв.

Швидкість руху людського потоку на ділянках шляху, наступних після першого, приймають за [2] залежно від інтенсивності руху людського потоку кожною із цих ділянок шляху, яку обчислюють для всіх ділянок шляху, і для дверних прорізів включно, за формулою:

$$q_i = \frac{q_{i-1} \cdot b_{i-1}}{b_i}, \quad (2)$$

де: b_i, b_{i-1} – ширина розглянутої i -ї та попередньої їй ділянки шляху, м;

q_i, q_{i-1} – інтенсивність руху людського потоку розглянутою i -ою і попередньою ділянками шляху, м/хв (інтенсивність руху людського потоку першою ділянкою шляху визначається за [2]).

При цьому значення q_{max} , м/хв слід приймати рівними:

для М1:

$q_{max} = 16.5$ – для горизонтальних шляхів;

$q_{max} = 19.6$ – для дверних прорізів;

$q_{max} = 16.0$ – для сходів вниз;

$q_{max} = 11.0$ – для сходів вгору.

для М2:

$q_{max} = 9.84$ – для горизонтальних шляхів;

$q_{max} = 9.7$ – для дверних прорізів;

$q_{max} = 9.55$ – для сходів вниз;

$q_{max} = 5.71$ – для сходів вгору;

$q_{max} = 12.16$ – для пандусів вниз;

$q_{max} = 6.97$ – для пандусів вгору.

для М3:

$q_{max} = 15.97$ – для горизонтальних шляхів;

$q_{max} = 17.6$ – для дверних прорізів;

$q_{max} = 6.29$ – для сходів вниз;

$q_{max} = 6.83$ – для сходів вгору;

$q_{max} = 21.69$ – для пандусів вниз;

$q_{max} = 11.53$ – для пандусів вгору.

для М4:

$q_{max} = 14.52$ – для горизонтальних шляхів;

$q_{max} = 16.4$ – для дверних прорізів;

$q_{max} = 27.65$ – для пандусів вниз;

$q_{max} = 10.03$ – для пандусів вгору.

Якщо значення q_i , визначене за формулою (2), більше q_{max} , то ширину b_i даної ділянки шляху слід збільшувати на таке значення, за якого дотримується умова:

$$q_i \leq q_{max}, \quad (3)$$

За неможливості виконання умови (3) інтенсивність і швидкість руху людського потоку ділянкою i визначають за [2] за значення щільності потоку – 0,9 і більше. При цьому слід враховувати час затримки руху людей через їх скупчення, відповідно до [2].

З метою отримання опорних величин було проведено базові обчислювальні експерименти.

Габаритні розміри та граничні умови шляхів евакуації приймаємо для базового обчислювального експерименту відповідно до нормативних вимог [2, 3].

Вихідні дані для базового експерименту:

Кількість місць захисної споруди або СПП – 200 осіб.

Кількість місць для МГН з загальної кількості – 20 осіб.

Приймаємо умови від максимально важких до полегшених для розрахунку виходу (евакуації) та спуску, а саме: кількість осіб з інвалідністю групи мобільності М4 – 10 осіб та 10 осіб з інвалідністю груп мобільності М1–М4.

На рисунку 2. відображено скріншоти моделювання підйому.

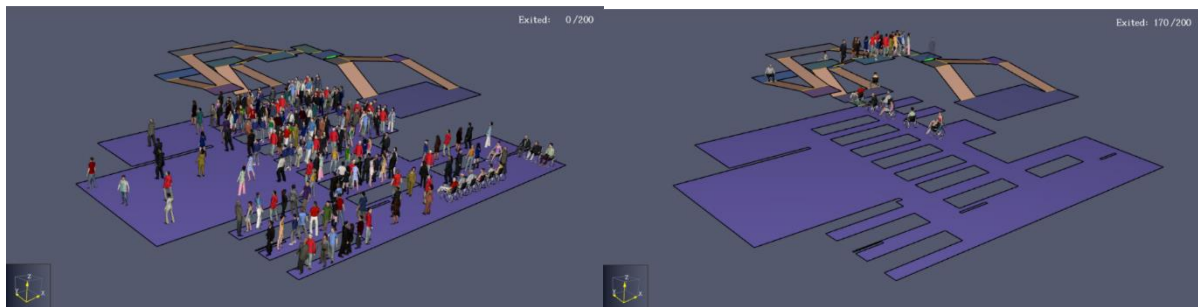


Рис. 2. Базовий експеримент: підйом.

Відповідно до розрахунку, час евакуації назовні склав – 345,8 с.

На рисунку 3. відображено скріншоти моделювання спуску.

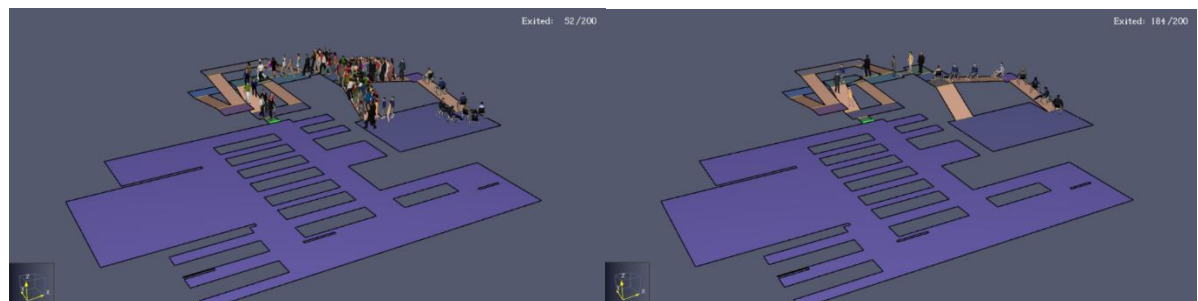


Рис. 3. Базовий експеримент: спуск.

Відповідно до розрахунку, час спуску склав – 267,3 с.

Наступний обчислювальний експеримент враховував максимально-допустимі відхилення шляхів евакуації [2].

Габаритні розміри та граничні умови шляхів евакуації приймаємо для обчислювального експерименту із уклоном пандусу в 30% або розумне пристосування із залученням додаткового обладнання для пересування осіб з інвалідністю групи

мобільності М4 із уклоном сходової клітини не більше 30%.

Вихідні дані для експерименту:

Кількість місць захисної споруди або СПП – 200 осіб.

Кількість місць для МГН з загальної кількості – 20 осіб.

Було прийнято умови від максимально важких до полегшених для розрахунку виходу (евакуації) та спуску, а саме: кількість осіб з інвалідністю групи мобільності М4 – 10 осіб та 10 осіб з інвалідністю груп

мобільності М1-М4. Відповідно до розрахунку, час підйому підйому – 360,5 с.

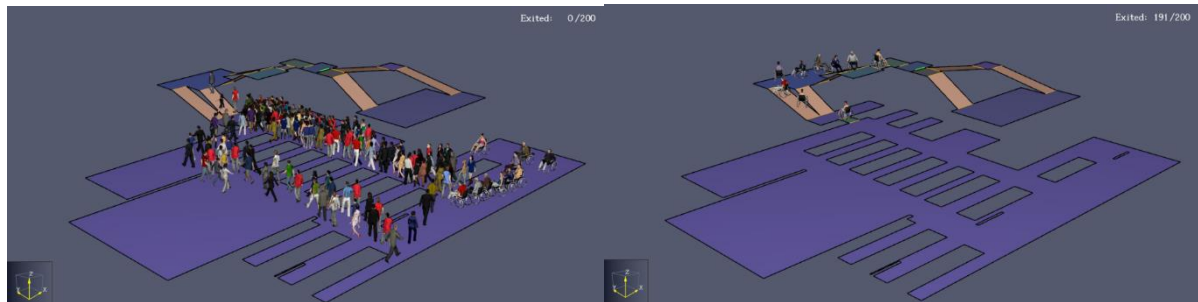


Рис. 4. Експеримент з максимальними відхиленнями: підйом.

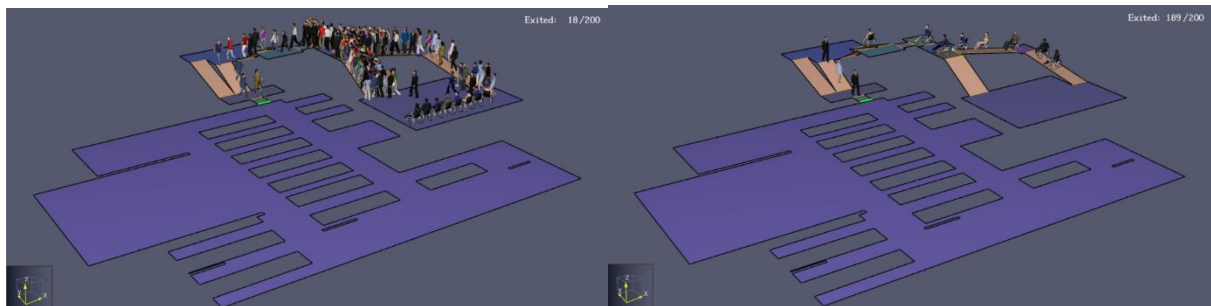


Рис. 5. Експеримент з максимальними відхиленнями: спуск.

Відповідно до розрахунку, час спуску склав – 289,3 с.

Наступний обчислювальний експеримент враховував розумне пристосування шляхів евакуації [2].

Відповідне розумне пристосування наявним гусеничним підйомником забезпечує надання допомоги особам з інвалідністю групи мобільності М4, яка надається однією особою для забезпечення пересування по маршах сходової клітини або по внутрішнім пандусам уклоном більше ніж 30%. По характеру відноситься як допоміжний засіб для вищесказаного способу пересування за допомогою двох осіб, які зможуть транспортувати крісло-коляску із особою до захисної споруди або СПП. Для наступного способу пересування також встановлюється швидкість 0,1 м/с. Але даний пристрій забезпечує мінімальні навантаження та труднощі які можуть виникнути в порівнянні з транспортуванні за допомогою двох осіб.

Габаритні розміри та граничні умови шляхів евакуації приймаємо для обчислювального експерименту із розумним

пристосуванням (встановлення похилого механічного пристрою для внутрішньої сходової клітини з уклоном 50%).

Вихідні дані для експерименту:

Кількість місць захисної споруди або СПП – 200 осіб.

Кількість місць для МГН з загальної кількості – 20 осіб.

Приймаємо умови від максимально важких до полегшених для розрахунку виходу (евакуації) та спуску, а саме: кількість осіб з інвалідністю групи мобільності М4 – 10 осіб та 10 осіб з інвалідністю груп мобільності М1-М4. Відповідно до розрахунку, час підйому склав – 631,8 с.

Відповідно до розрахунку, час спуску склав – 784,3 с.

Наступний обчислювальний експеримент враховував розумне пристосування сходової клітини із встановленням додаткового обладнання [2, 3].

Габаритні розміри та граничні умови шляхів евакуації приймаємо для обчислювального експерименту із розумним

приспособуванням (встановлення ліфта або механічного підйомника).

Вихідні дані для експерименту:

Кількість місць захисної споруди або СПП – 200 осіб.

Кількість місць для МГН з загальної кількості – 20 осіб.

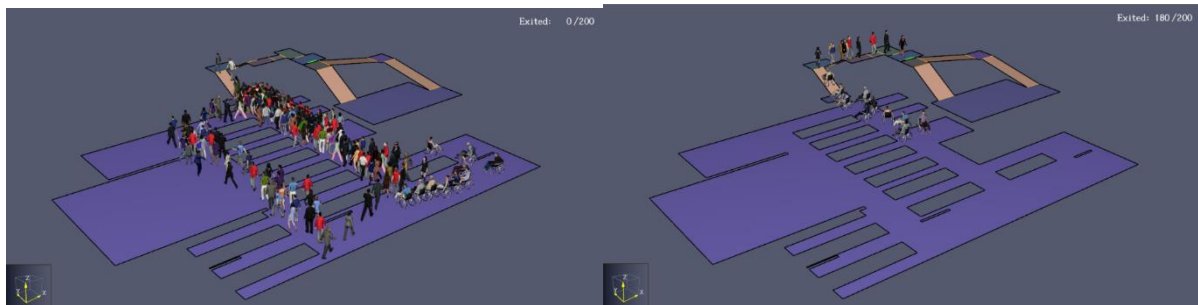


Рис. 6. Експеримент з розумними пристосуваннями: підйом.



Рис. 7. Експеримент з розумними пристосуваннями: спуск.

Приймаємо умови від максимально важких до полегшених для розрахунку виходу (евакуації) та спуску, а саме: кількість осіб з інвалідністю групи мобільності М4 – 10

осіб та 10 осіб з інвалідністю груп мобільності М1-М4. Відповідно до розрахунку, час підйому склав – 609,0 с.

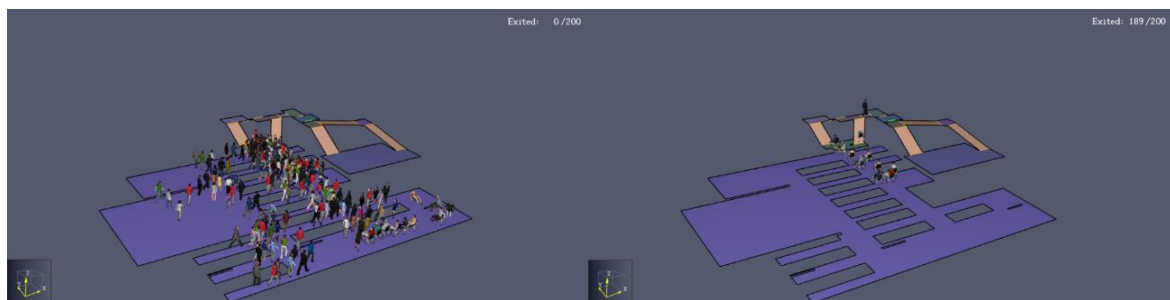


Рис. 8. Експеримент з додатковим обладнанням: підйом.

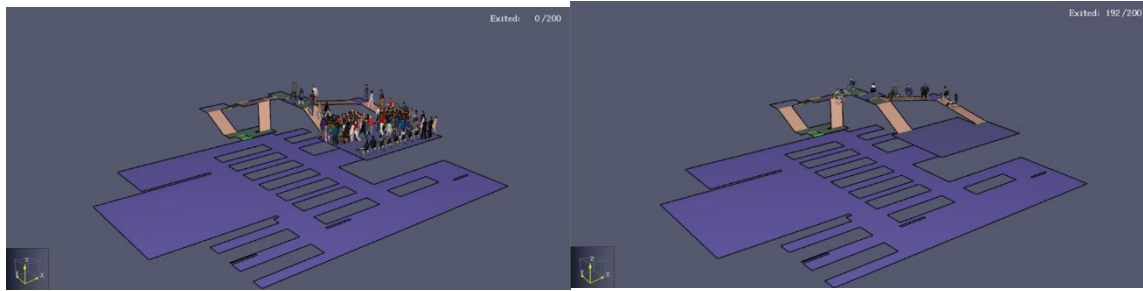


Рис. 9. Експеримент з додатковим обладнанням: спуск.

Відповідно до розрахунку, час спуску склав – 575,5 с.

Таким чином, провівши моделювання спуску та підйому людей, включаючи маломобільну групу населення, всередину споруди ЦЗ та назовні, стало можливим оцінити час за різних умов та сформулювати висновки.

Висновок.

У даній роботі проаналізовано результати обчислювальних експериментів для оцінювання швидкості руху маломобільної групи населення під час підйому та спуску в споруду ЦЗ. Було створено приміщення складної будови, на основі реально існуючого об'єкту, для врахування всіх особливостей руху людей в потоці. Це дозволило оцінити час, потрапляння людей при відхиленнях від норм стандартів або застосуванні розумних пристосувань:

1. Відповідно до розрахунку, час руху зі споруди ЦЗ, що повністю відповідає вимогам норм безбар'єрності, та всередину

склав: назовні – 345,8 с, а час спуску – 267,3 с. Ці величини стали базовими для подальших розрахунків.

2. Під час моделювання спуску та підйому за максимально-допустимих відхилень від норм проєктування для шляхів евакуації час руху маломобільної групи населення збільшився і склав: назовні – 360,5 с, спуску – 289,3 с, що на 15 та 22 с більше від базового експерименту відповідно.

3. Під час моделювання використання розумних пристосувань час руху склав: назовні – 631,8 с, спуску – 784,3 с, а застосування додаткового обладнання (ліфти або підйомники) час руху склав: назовні – 609 с, спуску – 575,5 с. Це свідчить про те, що використання розумних пристосувань та додаткового обладнання хоча і підвищує зручність пересування маломобільної групи населення, але суттєво збільшує час спуску та підйому.

Список літератури

1. Про схвалення Національної стратегії із створення безбар'єрного простору в Україні на період до 2030 року: Розпорядження Кабінету Міністрів України; Стратегія від 14.04.2021 № 366-р.

2. ДБН В.2.2-5:2023 «Захисні споруди цивільного захисту»

3. ДБН В.2.2-40:2018 «Інклюзивність будівель і споруд. Основні положення»

4. Майборода Р. І., Отрош Ю. А., Рашкевич Н. В., Мележик Р. С. Дослідження евакуації маломобільних груп населення з житлових висотних будинків при пожежі. Комунальне господарство міст, т. 4, № 178. Харків, 2023. С. 219-231.

5. Ганусевич Д. Л., Ренкас А. А. Проблеми евакуації маломобільних груп населення з

громадських будівель у разі виникнення пожежі. Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності: Зб. наук. праць XVII Міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених, курсантів та студентів. – Львів: ЛДУ БЖД, 2022. с. 22-23.

6. Доценко О., Крикун О., Цимбалістий С. Дослідження евакуації маломобільних груп населення в умовах змішаних потоків //Collection of scientific papers «АЛОГОС». – 2024. – №. February 2, 2024; Oxford, UK. – С. 149-152.

7. Доценко О. Г. Методика експериментальних досліджень евакуації змішаних потоків людей різних груп мобільності. Комунальне господарство міст. Науково-технічний збірник. Серія : технічні науки та архітектура. 2023. Том 6, № 180. С. 154–160.

8. Пожежна безпека. Загальні положення: ДСТУ 8828:2019 [Чинний з 2020-01-01]. Київ: УкрНДНЦ, 2019. 87 с.

9. ДБН В.2.3-7:2018 «Метрополітени».

10. Кодекс 3-1:2022 «Метрополітени. Частина 1. Проектування».

11. Рекомендації щодо пристосування об'єктів фонду захисних споруд цивільного захисту до потреб осіб з інвалідністю та інших маломобільних груп населення. Черкаси: ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2024. 32 с. https://dsns.gov.ua/upload/2/2/0/1/3/5/5/rekomenda_ciyi.pdf.

References

1. Pro skhvalennya Natsional'noyi stratehiyi iz stvorenniya bezbar'yernoho prostoru v Ukrayini na period do 2030 roku: Rozporyadzhennya Kabinetu Ministriv Ukrayiny; Stratehiya vid 14.04.2021 № 366-r.

2. DBN V.2.2-5:2023 «Zakhysni sporudy tsyvil'noho zakhystu»

3. DBN V.2.2-40:2018 «Inklyuzyvnist' budivel' i sporud. Osnovni polozhennya»

4. Mayboroda R. I., Otrosh YU. A., Rashkevych N. V., Melezhyk R. S. Doslidzhennya evakuatsiyi malomobil'nykh hrup naselennya z zhytlovykh vysotnykh budynkiv pry pozhezhi. Komunal'ne hospodarstvo mist, t. 4, № 178. Kharkiv, 2023. S. 219-231.

5. Hanusevych D. L., Renkas A. A. Problemy evakuatsiyi malomobil'nykh hrup naselennya z

hromads'kykh budivel' u razi vynykennya pozhezhi. Problemy ta perspektyvy rozvytku systemy bezpeky zhyttyediyal'nosti: Zb. nauk. prats' KHVII Mizhnar. nauk.-prakt. konf. molodykh vchenykh, kursantiv ta studentiv. – L'viv: LDU BZHD, 2022. s. 22-23.

6. Dotsenko O., Krykun O., Tsymbalistyy S. Doslidzhennya evakuatsiyi malomobil'nykh hrup naselennya v umovakh zmishanykh potokiv //Collection of scientific papers «LÓHOS». – 2024. – №. February 2, 2024; Oxford, UK. – S. 149-152.

7. Dotsenko O. H. Metodyka eksperymental'nykh doslidzen' evakuatsiyi zmishanykh potokiv lyudey riznykh hrup mobil'nosti. Komunal'ne hospodarstvo mist. Naukovo-tekhnichnyy zbirnyk. Seriya : tekhnichni nauky ta arkhitektura. 2023. Tom 6, № 180. S. 154–160.

8. Pozhezhna bezpeka. Zahal'ni polozhennya: DSTU 8828:2019 [Chynnyy z 2020-01-01]. Kyiv: UkrNDNTS, 2019. 87 s.

9. DBN V.2.3-7:2018 «Metropoliteny».

10. Kodeks 3-1:2022 «Metropoliteny. Chastyna 1. Proyektuvannya».

11. Rekomendatsiyi shchodo prystosuvannya ob'yektiv fondu zakhysnykh sporud tsyvil'noho zakhystu do potreb osib z invalidnistyu ta inshykh malomobil'nykh hrup naselennya. Cherkasy: CHIPB im. Heroyiv Chornobylya NUTSZ Ukrayiny, 2024. 32 s. https://dsns.gov.ua/upload/2/2/0/1/3/5/5/rekomenda_ciyi.pdf

Нуязін Олександр Михайлович – д-р техн. наук, професор, начальник науково-дослідної лабораторії пожежної та техногенної безпеки навчально-наукового інституту пожежної безпеки Національного університету цивільного захисту України (вул. Онопрієнка, 8, Черкаси, 18034, Україна). ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2527-6073> E-mail: nuianzin_oleksandr@nuczu.edu.ua

RESEARCH ON THE MOVEMENT SPEED OF LOW-MOBILITY POPULATION GROUPS IN CIVIL PROTECTION SHELTERS

Purpose. To accurately assess the entry and exit time of civil protection shelters, it was considered that the existing facilities were not adapted to the needs of persons with disabilities and other low-mobility population groups. A series of computer simulations were conducted to model descent and ascent under various conditions and group compositions. The simulations utilized a complex architectural layout to account for all distinctive features of human movement within a crowd.

Methods. The individual-flow movement calculation method was selected to estimate the descent and exit times. This method, in contrast to simplified analytical models, incorporates the heterogeneity of the human flow, considering varying mobility capacities and the projected human body area.

Results. Baseline computational experiments were performed to obtain reference values. The geometric parameters and boundary conditions of the evacuation routes were set in accordance with regulatory requirements.

Novelty. Simulations of descent and ascent under maximum permissible deviations from evacuation route design standards indicated that the movement time of low-mobility population groups increased by 15 and 22 seconds, respectively, compared to the baseline experiment. Furthermore, the introduction of smart assistive devices resulted in an almost twofold increase in movement time. These findings demonstrate that while smart assistive devices and additional equipment improve comfort and accessibility for low-mobility population groups, they considerably prolong the descent and ascent duration.

Practical significance. *The study underscores the necessity of integrating adaptive design principles in civil protection shelters to balance accessibility with evacuation efficiency for vulnerable population groups.*

Key words: *computational experiment, low-mobility population groups, safety, evacuation, speed, barrier-free accessibility, civil protection shelter.*

Oleksandr Nuianzin – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Research Laboratory of Fire and Technogenic Safety of Educational and Scientific Institute of Fire Safety of National University of Civil Protection of Ukraine (8 Onopriienko St., Cherkasy, 18034, Ukraine)

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2527-6073> E-mail: nuianzin_oleksandr@nuczu.edu.ua

УДК 614.8:355.01

[https://doi.org/10.36910/3083-6255/1\(1\).2025.93-101](https://doi.org/10.36910/3083-6255/1(1).2025.93-101)

О. О. Ченчева
Є. Є. Лашко
О. О. Роговенко
О. М. Горбенко

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ НАВЧАННЯ ЦИВІЛЬНОГО НАСЕЛЕННЯ НАВИЧКАМ НАДАННЯ ДОМЕДИЧНОЇ ДОПОМОГИ

Мета роботи - оцінити знання та навички надання першої домедичної допомоги особами без медичної освіти, визначити рівень готовності до надання допомоги за результатами навчання.

Методика. З метою оцінки ефективності навчання проведено 81 тенінг з основ надання першої допомоги з використанням комп'ютеризованих манекенів, тренажерів та тренувального обладнання. Визначено ефективність навчання основам першої домедичної допомоги за допомогою модифікованого контрольного списку з рекомендацій АНА та з рекомендацій ERC, що включає такі параметри: перевірка безпеки, рухи плечима, заклик до допомоги, поворот голови, контроль дихальних шляхів, контроль дихання. Якість отриманих знань та ефективність практичних навичок вимірювали за допомогою відкритих запитань і запитань з декількома варіантами відповідей щодо клінічних сценаріїв. Готовність, впевненість у собі та зміни в самоефективності вимірювали за п'ятибальною шкалою Лайкерта. Систематизовано основні психологічні фактори, які формують нерішучість та небажання у цивільних осіб надавати першу допомогу постраждалому.

Результати. Дослідження показало, що навчання основам першої домедичної допомоги значно підвищило рівень знань немедичних осіб одразу після навчання та виявило зацікавленість у вдосконаленні отриманих навичок. Визначено основні проблеми при проведенні теоретичної та практичної підготовки, добору форм і методів з метою ефективного навчання навичкам надання першої домедичної допомоги: використання рольових ігор, ситуаційних завдань, відеофрагментів з пошуком помилок. Аналіз найпоширеніших помилок дозволить підвищити ефективність надання першої допомоги та якість навчання у цій сфері.

Наукова новизна. Проведене навчання основам надання домедичної допомоги та оцінка його ефективності дозволяє сформувати навчальну програму проведення тренінгів з основ надання домедичної допомоги з урахуванням потреб вікових категорій цивільного населення.

Практична значимість. Отримані результати можуть бути використані викладачами та тренерами домедичної допомоги з метою зниження кількості помилок, що допускаються під час практичних вправ, підвищення якості та ефективності підготовки цивільного населення та збільшення рівня готовності до порятунку постраждалого.

Ключові слова: перша домедична допомога, ефективність навчання, практичні навички, психологічний бар'єр, серцево-легенева реанімація.

Вступ

Сьогоднішні події на території України спонукають кожного з нас постійно перебувати у стані повної готовності до будь якої ситуації. Одним з ключових елементів такої підготовки є наявність знань алгоритмів та отримання міцних навичок надання допомоги на догоспітальному етапі.

Відсутність практичних навичок в наданні першої допомоги може бути проблемою при зустрічі з непередбаченими ситуаціями з великою кількістю постраждалих і поранених – це і ДТП, і наслідки ракетних обстрілів, і виробничі травми, і навіть побутові травми. Хоча теоретичні знання важливі, вони здатні лише частково підготувати нас до реального досвіду надання першої допомоги.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Страх надання домедичної допомоги може бути поширеним серед багатьох людей, особливо тих, хто не має спеціальної медичної підготовки чи впевненості у власних діях. Це пов'язано з тим, що проведення заходів вимагає певної відповідальності та знань в медичній сфері. Багато людей психологічно бояться зробити щось неправильно або ще більше нашкодити, що може негативно вплинути на стан постраждалої особи. Крім того, страх може виникати просте через необхідність мати контакт з кров'ю або важкими травмами, що само по собі неприємне явище для нетренованої людини [1].

Однак, варто зазначити, що всі люди можуть навчитися надавати першу допомогу на місці надзвичайної ситуації. Наявність

спеціальної медичної підготовки не є обов'язковою для того, щоб бути корисним у наданні допомоги. Багато організацій та навчальних закладів пропонують курси з навчання першої допомоги, де люди можуть отримати необхідні знання та навички [2].

Важливо розуміти, що надання першої допомоги може врятувати життя людини, тому навчитися цьому – це інвестиція у благо усього суспільства. Крім того, практика надання першої допомоги може зменшити страх і збільшити впевненість у власній здатності допомогти в екстрених ситуаціях.

Практичні навички в наданні першої допомоги дозволяють усунути неминучі помилки та невпевненість, які можуть виникнути під час надання допомоги. Лише практика дозволяє виробити правильну техніку надання штучного дихання, серцево-легеневої реанімації (СЛР), розуміння, як використовувати дефібрилятор та інших навичок [2].

Позагоспітальна зупинка серця (ПЗС) є причиною 350 000 смертей щороку в Європі [3]. У більшості випадків рівень виживаності низький і становить трохи більше 10%. Однак за допомогою неспеціаліста ці показники виживання

можна подвоїти [4]. Дійсно, серцево-легенева реанімація (СЛР), яку проводять неспеціалісти, ймовірно, підвищила рівень виживаності пацієнтів, які перенесли ПЗС протягом останніх десятиліть. Таким чином, люди, що перебувають при ПЗС поруч з постраждалим відіграють вирішальну роль у виживанні людини з зупинкою серця [6].

Мета статті (постановка завдання).

Оцінити знання та навички надання першої домедичної допомоги особами без медичної освіти, визначити рівень готовності до надання допомоги за результатами навчання.

Методи дослідження.

Якість СЛР-навичок вимірювали за допомогою записуючого манекена, записуючого манекена-симулятора, манекена зі спеціальним програмним забезпеченням. Також використовувалася комбінація суб'єктивної оцінки спостерігача, відеозапису та записуючого манекена. Тестування після нового тренінгу з реанімації на основі технології віртуальної реальності спиралося на дані, надані датчиками всередині манекена (рис.1). За допомогою веб-камери (сфокусованої на манекені) можна було підтвердити якість СЛР.



Рис. 1. Комп'ютеризований манекен для контролю навичок надання серцево-легеневої реанімації

Незважаючи на метод оцінки, якість СЛР базувалася на частоті компресії (100-120/хв), глибині компресії (50-60 мм), співвідношенні компресія-вентиляція, тривалості перерв між компресіями грудної клітки, повній віддачі грудної клітки, правильному розміщенні рук, об'ємі правильної компресії, об'ємі вентиляції (500 мл), тривалості вентиляції (с) та загальній ефективності.

Загальну ефективність оцінювали за допомогою модифікованого контрольного списку, який заповнював спостерігач. Контрольний список був запозичений або з рекомендацій АНА, або з рекомендацій ERC. Він включає такі параметри: перевірка безпеки, рухи плечима, заклик до допомоги, поворот голови, контроль дихальних шляхів, контроль дихання.

Якість отриманих знань та ефективність практичних навичок вимірювали за допомогою відкритих запитань і запитань з декількома варіантами відповідей щодо клінічних сценаріїв. Готовність, впевненість у собі та зміни в самоефективності вимірювали за п'ятибальною шкалою Лайкерта.

Виклад основного матеріалу.

Теоретичні знання з основ надання першої допомоги можуть бути обмежені, коли справа стосується непередбачуваних ситуацій, тому важливо регулярно практикувати і оновлювати свої навички першої допомоги.

Навчання першої допомоги виходить за рамки простої теорії; воно потребує необхідних допоміжних засобів та інструментів для навчання. Ефективні інструменти можуть значно покращити досвід навчання та загальну якість освіти. Науковці запропонували інноваційні підходи до розширення участі громадськості у навчанні першої допомоги. Наприклад, створення безпечних місць для надання першої допомоги в громадах надає мешканцям вільний доступ до місць навчання першої допомоги, необхідного обладнання та інструктажів для волонтерів, тим самим заохочуючи більшу кількість людей долучатися до навчання першої допомоги.

Отримання практичного досвіду можна робити шляхом проходження курсів та навчання. Це надає можливість

відпрацювання навичок на манекенах та імітаційних ситуаціях.

Проблема навчання педагогічних працівників навичкам надання першої допомоги є вкрай важливою та актуальною. В період військового стану педагоги можуть стикатися з непередбаченими ситуаціями, коли дитина або співробітник потребує невідкладної допомоги. Це може статися через військові події, просто під час навчального процесу, в укритті, де знаходиться одночасно велика кількість людей, які вимушено перебувають у стресовій ситуації [7].

Як з'ясувалось, не всі педагоги мають достатні знання та навички у наданні першої допомоги. Це обумовлено відсутністю відповідного навчання, недостатнім обсягом часу або ресурсами. Крім того, нерегулярність ситуацій, в яких потрібно надавати першу допомогу, призводить до втрати навичок та недостатньої практики. Саме таку ситуацію колектив нашої кафедри спостерігав при проведенні волонтерських тренінгів з основ надання першої домедичної допомоги.

Навчання педагогічних працівників навичкам надання першої допомоги має бути важливою складовою частиною професійного розвитку педагогічних працівників. Це допоможе створити безпечне та захищене навчальне середовище, де кожен зможе отримати необхідну допомогу у разі потреби. Як правило, такі навчання є дороговартісними, не кожен освітній заклад може дозволити фінансування проходження таких тренінгів всіма членами колективу. Зачасту, це поодинокі особи з числа педагогічних працівників, які входять до керівного складу закладу освіти. Безпосередній же контакт з учнями та студентами здійснюють класні керівники, куратори та й просто викладачі і персонал навчального закладу, тому особливо важливо навчити навичкам домедичної допомоги усіх без винятку [5-7].

У загальному, проведення практичних тренінгів з домедичної допомоги є важливим етапом у процесі набуття навичок, підвищення кваліфікації та покращення ефективності надання допомоги. Вони допомагають учасникам активізувати свої знання та навички, розвиватися як професіонали та готуватися до реальних ситуацій надання домедичної допомоги [4].

Старшокласники та студенти також можуть бути навчені надавати першу допомогу і в цьому напрямку. Надання першої допомоги може бути часто потрібним, і вміння старшокласників подавати першу допомогу може врятувати їх життя. Як показали результати моніторингу знань молоді основ надання допомоги, їх недостатньо або вони є суто теоретичними. На практиці виникають значні складнощі, викликані розгубленістю та невпевненістю у власних діях [7].

Для попередження психологічних проблем у людей, які надають першу допомогу, необхідно здійснювати регулярну підготовку і навчання цивільних людей, які надають першу допомогу. Це зробить їх більш упевненими у власних діях. Важливо запроваджувати симуляційні засоби і тренувальні манекени: використання ситуаційних задач, симуляторів та тренажерів може допомогти людям уявити реальні ситуації, з якими вони можуть зіткнутися. Це може надати їм можливість попрактикувати свої навички та підготувати їх до реального випадку [1, 2, 4].

Проведене ввідне опитування всіх учасників тренінгів, а їх було більше 2784 осіб, виявило, що тільки 23% готові надавати допомогу. Цей відсоток, як правило, становлять медичні працівники закладів освіти чи особи з медичною освітою. Натомість 54% дуже сумніваються у своїх знаннях і навичках, а ще 23% зовсім не знають як надавати допомогу та мають сильний психологічний страх перед необхідністю контакту з постраждалими.

Одне з рішень цієї проблеми – організація систематичного навчання педагогічних працівників навичкам надання першої допомоги. Це може включати обов'язкові курси під час підготовки до роботи в освітньому закладі, а також регулярні оновлення знань та навичок протягом усього професійного шляху.

Колективом фахівців Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського (спеціальність 263 «Цивільна безпека») було організовано та запроваджено волонтерські тренінги з основ надання першої домедичної допомоги для персоналу закладів освіти нашого міста з метою ознайомлення і практичного відпрацювання навичок зупинки кровотеч, серцево-легеневої реанімації, евакуації

постраждалих та допомоги при невідкладних станах. Проведено 81 тренінги для 2784 цивільних осіб з надання першої медичної допомоги в надзвичайних ситуаціях. Визначено пошук ефективного, практичного методу навчання цивільного населення основам домедичної допомоги.

Матеріально-технічний супровід здійснювався безпосередньо викладачами кафедр, волонтерами та небайдужими випускниками, підтримкою Асоціації цивільного захисту та місцевого осередку ДСНС.

Теоретичну та практичну інформацію було адаптовано для простішого сприйняття пересічними людьми різних вікових груп. Тренінг, тривалістю дві години, складався з двох частин - теоретичної (частина 1) та практичної (частина 2). Перша частина складалася з анімаційної лекції досвідченого тренера, який протягом 30-60 хвилин розглядав і моделював ситуаційні задачі (рис. 2).

Двоє тренерів демонстрували кожну навичку, відповідали на детальні запитання, і кожен учасник відпрацьовував маніпуляцію за алгоритмом КОЛЕСО за допомогою тренера. Середня тривалість вправ становила до 30 хвилин, а загальна тривалість практичної частини 2 - в середньому 1-1,5 години.

Під час навчання було використано системи віртуального моделювання для відпрацювання навичок надання першої медичної допомоги та високоточних манекенів з пристроями аудіовізуального зворотного зв'язку для керівництва навчанням у реальному часі, що підвищує якість навчання.

Більшість досліджень, що оцінюють навички надання першої допомоги після відповідного навчання, зосереджені на оцінці або практичних навичок, або знань з надання першої допомоги, або і того, і іншого. У цих дослідженнях серцево-легенева реанімація представлена надмірно. В останні роки інтерес викликають також емоційні аспекти, такі як готовність допомагати і впевненість у собі. Незважаючи на велику кількість досліджень, системи вимірювання, що використовуються для оцінки навичок надання першої допомоги, не є узгодженими. Лише за допомогою узгоджених методів оцінювання всіх

аспектів навичок надання першої допомоги ми зможемо порівняти результати різних тренінгів з надання першої допомоги, проведених різними організаціями,

включаючи приватні, неурядові та державні організації.



Рис. 2. Проведення теоретичних і практичних навчань на базі загальноосвітньої школи

Надважливим елементом першої допомоги є емоційна підтримка як постраждалого, так і людини, що безпосередньо надає допомогу. Надання підтримки та відповіді на емоційні запити людей, які надають першу допомогу, може допомогти запобігти психологічним проблемам. Це може дати можливість особі розуміти та керувати своїми емоціями, знизити стрес та покращити швидкість реакції на загрози, а також дозволяє проявити нестандартні ефективні рішення при наданні допомоги [7].

В цілому, забезпечення належної підготовки і підтримки для тих, хто надає першу допомогу, може значно зменшити ризик розвитку психологічних проблем. Знання, практика та емоційна підтримка можуть допомогти таким людям залишатися здоровими та ефективно надавати допомогу іншим, особливо у воєнний час [6-7].

Умовну ефективність набуття навичок досліджували за допомогою електронних анкет. Учасникам була запропонована можливість залишити відгук через Google-форму з QR-кодом. Їм було запропоновано оцінити якість навчання за допомогою опитувальника за шкалою від 0 до 10, де 1 означає «зовсім не сподобалося (не запам'ятається)», а 10 означає «дуже сподобалося (запам'ятається)». Учасників попросили оцінити загальне враження, а також окремо теоретичну (частина 1) і практичну (частина 2) частини та вказати, яка була найбільш корисною. Крім того, учасники могли вносити пропозиції.

Статистичний аналіз проводили за допомогою програмного забезпечення Statistica 6.0. Відгуки теоретичної та практичної частин досліджувалися окремо за допомогою непараметричної статистики.

Обговорення результатів.

З 2784 цивільних осіб, які взяли участь, загалом 93 (3,3 %) учасники (середній вік — $35,3 \pm 7,3$ року) залишили відгук через гугл-форму. Ці учасники були поділені на дві вікові групи: I група — особи віком від 18 до 35 років ($n = 48$), II група — особи старше 35 років ($n = 45$). Серед учасників, які надали відгуки, 61 % були людьми без медичної освіти, 26 % — учителями, 13 % — студентами. Статевий розподіл у групах був однорідним. I групу становили 18 (37,5 %) чоловіків і 30 (62,5 %) жінок.

II групу становили 9 (20 %) чоловіків і 36 (80 %) жінок.

Загальне враження від тренінгу було високим в обох групах із середнім показником 10 [10–10] в обох групах без істотної різниці між групами порівняння. Теоретична частина також була оцінена однаково високо з середнім балом 10 [10–10] в обох групах без істотної різниці між групами.

Це свідчить про те, що теоретичний матеріал (1 частина) був доступним незалежно від віку учасників. Усі відгуки та пропозиції щодо покращення оволодіння кожною навичкою (частина 2) були згруповані в різні вікові групи для аналізу матеріалу. Учасники I групи підкреслили корисність отриманих знань для СЛР, а ще 18 % відзначили, що вся інформація була корисною або привернула увагу до інших аспектів, які вони могли почути вперше. 21% учасників не залишили коментарів. Більш активними були учасники II групи, лише 8 % не залишили відгуків.

Пропозиції щодо покращення теоретичної частини зводилися до потреби в більшій кількості інформації в обох групах. Проте лише кілька учасників вказали, якої інформації їм бракує (наприклад, «інформація про першу допомогу при опіках та утопленні», «пояснення фізіологічних механізмів дії травмуючих факторів»).

Дослідження виявило, що практична частина навчання була оцінена дещо нижче, ніж теоретична частина. Обидві групи дали середню оцінку 10 [9–10], але істотної різниці між ними не було. Це говорить про те, що практичні навички потребують подальшого вдосконалення, особливо для різних вікових груп.

Відгуки про практичну частину (частина 2) були різними для двох вікових груп. Найкориснішою навичкою молодші учасники I групи вважали відновлення роботи серця та прохідності дихальних шляхів, про це вказали 72 %. Навпаки, 60% старших учасників віддали перевагу тому ж навичку. Практична частина в цілому була оцінена краще в II групі. 64 % учасників вважали це дуже корисним, порівняно з 40 % у групі I. В обох групах можливість практикувати кожную навичку вважали корисною 70–75 % учасників.

Також були різноманітні пропозиції щодо вдосконалення практичної частини .

Учасники I групи вимагали більше часу для відпрацювання навичок і структурованих алгоритмів дій у різних ситуаціях для самостійного повторення. Учасники II групи запропонували, серед іншого, відпрацьовувати екстремальні ситуації для подолання паніки та страху, зменшити кількість учасників та індивідуалізувати роботу з тренерами у разі виникнення питань та помилок.

Загалом дослідження свідчить про те, що запропоновані алгоритми дій є ефективним і практичним способом навчання базової першої допомоги цивільним особам. Відгуки та пропозиції щодо вдосконалення можна включити в майбутні навчальні програми, адаптовані до різних вікових груп і рівнів кваліфікації.

За результатами тренінгів було отримано позитивні результати: відсоток тих, хто був готовий надавати допомогу і впевнений у власних знаннях і навичках збільшився з 23 до 47%; тих, хто сумнівався у своїх практичних навичках, але вже був впевнений у знаннях з 54% зменшився до 44%, але все ж залишилися ті, хто боїться надавати допомогу – 9%.

Такі результати підтверджують необхідність періодичного проведення занять з надання домедичної допомоги особливо для педагогічних і науково-педагогічних працівників, студентів та старшокласників, оскільки саме ця категорія цивільного населення не завжди може дозволити собі платне навчання, а також постійно перебуває у зоні ризику наразитися на небезпеку виникнення надзвичайних ситуацій через знаходження у місцях

масових скупчень під час навчального процесу.

Висновок.

Навчання основним навичкам надання першої домедичної допомоги цивільного населення є важливою задачею, яка сприяє подоланню страху і невпевненості при наданні допомоги та формує стійкі алгоритми дій в надзвичайній ситуації при наявності постраждалих. Набуті знання та практичні навички дозволяють вчасно надати першу допомогу на догоспітальному етапі щоб врятувати життя і здоров'я. Відпрацювання простих і доступних для сприйняття і запам'ятовування алгоритмів і логіки надання першої допомоги сприяють подоланню психологічних бар'єрів та відмові у спасінні постраждалого.

Виявлено, що при навчанні цивільного населення необхідно приділяти особливу увагу практичній частині підготовці населення, яка спрямована на деталізацію ситуаційних задач, адаптованих для конкретної категорії осіб, що навчаються. Це сприяє зменшенню виникнення гострих панічних реакцій при виникненні надзвичайної ситуації з постраждалими, які потребують першої допомоги на догоспітальному етапі, та підвищенню адаптації сценаріїв поведінки в екстремальних ситуаціях.

Подяка авторів.

Автори висловлюють подяку адміністрації Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського за можливість проведення дослідження.

Список літератури

1. Kano, M., Siegel, J. M., & Bourque, L. B. (2005). First-aid training and capabilities of the lay public: a potential alternative source of emergency medical assistance following a natural disaster. *Disasters*, 2005, 29 (1), 58–74. <https://doi.org/10.1111/j.0361-3666.2005.00274.x>
2. Olmos-Gómez, M. d. C., Ruiz-Garzón, F., Pais-Roldán, P., López-Cordero, R. (2021). Teaching First Aid to Prospective Teachers as a Way to Promote Child Healthcare. *Healthcare*, 2021, 9 (4), 367. <https://doi.org/10.3390/healthcare9040367>

3. National Association of State EMS Officials. (2021, August). National EMS scope of practice model 2019: Including change notices 1.0 and 2.0 (Report No. DOT HS 813 151). National Highway Traffic Safety Administration.

4. Wilks, J., Pendergast, D. (2017). Skills for life: First aid and cardiopulmonary resuscitation in schools. *Health Education Journal*, 2017 76(8), 1009-1023. <https://doi.org/10.1177/0017896917728096>

5. Ygiyeva, D., Pivina, L., Messova, A., Omarov, N., Batenova, G., Jamedinova, U., Dyussupov, A. (2024). Evaluating the Effectiveness of a First Aid Training

Programme for Individuals Without a Background in Medical Education. *Advances in medical education and practice*, 2024, 15, 773–782. <https://doi.org/10.2147/AMEP.S471561>

6. Іскра Н.І., Кузьмін В.Ю. Основні аспекти навчання медичних працівників на кафедрі медицини катастроф та військово-медичної підготовки з надання медичної допомоги в умовах сучасних бойових дій на прикладі проведення АТО на сході України. *Здоров'я суспільства*. 2022. №10 (6). С. 201–204. <https://doi.org/10.22141/2306-2436.10.6.2021.281>

7. Ченчева О.О., Геращенко С.М., Фірсов С.А., Губачов О.І. Особливості навчання цивільного населення навичкам надання домедичної допомоги під час бойових дій. *Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць*. 2022. Том 2 № 68. С.120-124. <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2022.2.120>

References

1. Kano, M., Siegel, J. M., & Bourque, L. B. (2005). First-aid training and capabilities of the lay public: a potential alternative source of emergency medical assistance following a natural disaster. *Disasters*, 2005, 29 (1), 58–74. <https://doi.org/10.1111/j.0361-3666.2005.00274.x>

2. Olmos-Gómez, M. d. C., Ruiz-Garzón, F., Pais-Roldán, P., López-Cordero, R. (2021). Teaching First Aid to Prospective Teachers as a Way to Promote Child Healthcare. *Healthcare*, 2021, 9 (4), 367. <https://doi.org/10.3390/healthcare9040367>

3. National Association of State EMS Officials. (2021, August). National EMS scope of practice model 2019: Including change notices 1.0 and 2.0 (Report No. DOT HS 813 151). National Highway Traffic Safety Administration.

4. Wilks, J., Pendergast, D. (2017). Skills for life: First aid and cardiopulmonary resuscitation in schools. *Health Education Journal*, 2017 76(8), 1009-1023. <https://doi.org/10.1177/0017896917728096>

5. Ygiyeva, D., Pivina, L., Messova, A., Omarov, N., Batenova, G., Jamedinova, U., Dyussupov, A. (2024). Evaluating the Effectiveness of a First Aid Training Programme for Individuals Without a Background in Medical Education. *Advances in medical education and practice*, 2024, 15, 773–782. <https://doi.org/10.2147/AMEP.S471561>

6. Iskra, N., Kuzmin, V. (2022). Basic aspects of study of medical practitioners at the Department of Disaster Medicine and Military Medical Training in providing medical care in modern combat operations on the example of the Anti-terrorist Operation in Eastern Ukraine. *Health of Society*, 2022, 10(6), 201–204. <https://doi.org/10.22141/2306-2436.10.6.2021.281>

7. Chenchewa O., Gerashchenko S., Firsov S., Gubachov O. Peculiarities of training the population of skills of first aid during military action. *Control, Navigation and Communication Systems*. 2022. Vol. 2 No. 68. 120-124. <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2022.2.120>

Ченчева Ольга Олександрівна - кандидат технічних наук, доцент кафедри цивільної безпеки, охорони праці, геодезії та землеустрою; Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського (вул. Університетська, 20, м. Кременчук, 39600, Україна).

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5691-7884> E-mail: chenchevaolga@gmail.com

Лашко Євгеній Євгенович - кандидат технічних наук, доцент кафедри цивільної безпеки, охорони праці, геодезії та землеустрою; Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського (вул. Університетська, 20, м. Кременчук, 39600, Україна).

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9691-4648> E-mail: evgenylashkolj@gmail.com

Роговенко Олег Олегович – студент 4 курсу навчання спеціальності 263 Цивільна безпека, кафедри цивільної безпеки, охорони праці, геодезії та землеустрою; Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського (вул. Університетська, 20, м. Кременчук, 39600, Україна).

E-mail: oor2412@gmail.com

Горбенко Олег Миколайович - кандидат технічних наук, доцент кафедри цивільної безпеки, охорони праці, геодезії та землеустрою; Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського (вул. Університетська, 20, м. Кременчук, 39600, Україна).

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5095-2152> E-mail: horbenkooleh@gmail.com

RESEARCH ON THE EFFECTIVENESS OF TRAINING THE CIVILIAN POPULATION IN FIRST AID SKILLS

The purpose of the work is to assess the knowledge and skills of providing first aid to individuals without medical education, to determine the level of readiness to provide assistance based on the results of the training.

Methodology. In order to assess the effectiveness of the training, 81 training sessions on the basics of first aid were conducted using computerized mannequins, simulators and training equipment. The effectiveness of training in the basics of first aid was determined using a modified checklist from the AHA recommendations and from the ERC recommendations, which includes the following parameters: safety check, shoulder movements, call for help, head turn, airway control, breathing control. The quality of the acquired knowledge and the effectiveness of practical skills were measured using open-ended and multiple-choice questions regarding clinical scenarios. Readiness, self-confidence and changes in self-efficacy were measured using a five-point Likert scale. The main psychological factors that form the indecision and reluctance of civilians to provide first aid to the victim were systematized.

Results. The study showed that training in the basics of first aid significantly increased the level of knowledge of non-medical personnel immediately after training and showed interest in improving the acquired skills. The main problems in conducting theoretical and practical training, selecting forms and methods for the purpose of effective training in first aid skills were identified: the use of role-playing games, situational tasks, video fragments with error detection. Analysis of the most common errors will allow to increase the effectiveness of first aid and the quality of training in this area.

Scientific novelty. The conducted training in the basics of first aid and the assessment of its effectiveness allows to form a training program for training in the basics of first aid, taking into account the needs of the age categories of the civilian population.

Practical significance. The results obtained can be used by teachers and trainers of first aid in order to reduce the number of errors made during practical exercises, improve the quality and efficiency of training of the civilian population and increase the level of readiness to save the victim.

Keywords: first aid, training effectiveness, practical skills, psychological barrier, cardiopulmonary resuscitation.

Olha Chencheva – Ph.D, Assistant Professor, Associate Professor of the Department of Civil Security, Labor Protection, Geodesy and Land Management; Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University; (Pershotravneva st., 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine).

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5691-7884> E-mail: chenchevaolga@gmail.com

Yevhenii Lashko – Ph.D, Assistant Professor, Associate Professor of the Department of Civil Security, Labor Protection, Geodesy and Land Management; Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University; (Pershotravneva st., 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine).

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9691-4648> E-mail: evgenylashkolj@gmail.com

Oleh Rohovenko – 4th year student of specialty 263 Civil Security of the Department of Civil Security, Labor Protection, Geodesy and Land Management; Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University; (Pershotravneva st., 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine).

E-mail: oor2412@gmail.com

Oleh Horbenko – Ph.D, Assistant Professor, Associate Professor of the Department of Civil Security, Labor Protection, Geodesy and Land Management; Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University; (Pershotravneva st., 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine).

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5095-2152>

E-mail: horbenkooleh@gmail.com

CONTENTS

Andrii Borta, Oleksandr Borta, Vadym Tarasov ASSESSMENT OF THE RESCUE AND SELF-RESCUE SYSTEM FOR UNDERGROUND WORKERS.....	6
Natalia Burdeina, Valentyn Glyva, Yana Biruk, Tetiana Petrunok, Iryna Aznaurian PRINCIPLES OF APPLICATION OF ULTRATHIN COATINGS FOR SHIELDING ELECTROMAGNETIC RADIATION OF MAN-MADE ORIGIN.....	11
Vasyl Holinko, Valentyna Zabelina, Oleg Kuznetsov STUDY OF THERMOCATALYTIC COMBUSTIBLE GAS SENSORS UNDER WATER INGRESS INTO THEIR GAS DIFFUSION FILTERS.....	17
Viktor Kostenko, Maryna Tavrel RESEARCH ON THE IMPACT OF FIELD RUNOFF ON THE OCCURRENCE OF THE EUTROPHICATION PROCESS OF WATER INTAKES.....	24
Tetiana Kostenko FEATURES OF INJURIES AMONG PERSONNEL OF RESCUE UNITS OF THE STATE EMERGENCY SERVICE OF UKRAINE IN WAR CONDITIONS.....	35
Valentyna Loboychenko, Valentyna Fedorchuk-Moroz, Olga Shevchenko, GENERAL BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF SCIENTIFIC PUBLICATIONS ON CIVIL PROTECTION AND OCCUPATIONAL SAFETY IN UKRAINE.....	45
Ihor Malovyk, Serhii Stepanchuk, Valerii Strilets, Andrii Khyzhniak DEVELOPMENT OF THE METHOD FOR INCREASING THE EFFICIENCY OF PERFORMING EMERGENCY AND RESCUE WORK IN CONDITIONS OF POSSIBLE COMBAT INJURY.....	59
Oleksandr Nuianzin RESEARCH ON THE MOVEMENT SPEED OF LOW-MOBILITY POPULATION GROUPS IN CIVIL PROTECTION SHELTERS.....	83
Olha Chenchewa, Yevhenii Lashko, Oleh Rohovenko, Oleh Horbenko RESEARCH ON THE EFFECTIVENESS OF TRAINING THE CIVILIAN POPULATION IN FIRST AID SKILLS.....	93

Науково-технічний журнал

**«АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ ОХОРОНИ ПРАЦІ, ЦИВІЛЬНОЇ ТА
ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ»**

1 (1)' 2025

Редагування англomовних текстів:

О. Ковальчук

Відповідальний редактор:

В. Федорчук-Мороз

Комп'ютерна верстка: О. Вісин

Підписано до друку з оригінал-макета 24.04.2025

Ум. друк. арк. 6,5

Наклад 100 прим.

Контактна адреса:

Луцький національний технічний університет

43018, вул. Львівська, 75, м. Луцьк, Україна

Телефон: +380 (332) 74-61-14

E-mail: cs@lntu.edu.ua

E-mail: op_problems@lntu.edu.ua

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
LUTSK NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY

Scientific and Technical Journal

**"CURRENT ISSUES OF OCCUPATIONAL, CIVIL AND TECHNOGENIC
SAFETY"**

1 (1)' 2025

Editing English-Language Texts:
O. Kovalchuk

Responsible Editor:
V. Fedorchuk-Moroz

Computer Layout:
O. Visyn

Signed for printing from the original layout 24.04.2025
Print sheets: 6,5
Circulation 100 copies.

Contact address:
Lutsk National Technical University
43018, Lvivska St., 75, Lutsk, Ukraine
Phone: +380 (332) 74-61-14

Email: cs@lntu.edu.ua
Email: op_problems@lntu.edu.ua