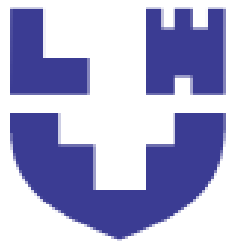

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ



АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ ОХОРОНИ ПРАЦІ, ЦИВІЛЬНОЇ ТА ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ

Науково-технічний журнал

Виходить 2 рази на рік

Заснований у грудні 2024 року

№2(2)' 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. Болібрux, 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. Нуянзін, 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. Филиппчук, 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 № 7 від 26.12.2025р.).

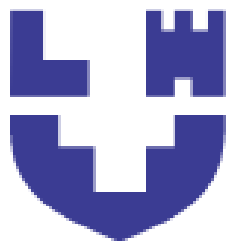
Актуальні питання охорони праці, цивільної та техногенної безпеки. Науково-технічний журнал. – Луцьк: Луцький національний технічний університет, 2025. №2(2). – 126 с.

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 (ResearchBib).



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

№2(2)' 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. Researcher (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. 7 dated December 26, 2025).

Current Issues of Occupational Safety, Civil and Technogenic Security. Scientific and Technical Journal. – Lutsk: Lutsk National Technical University, 2025. №2(2). – 126 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

Боровицький О.М. Проактивний метод розслідування інцидентів.....	6
Бурдейна Н.Б., Глива В.А., Бірук Я.І., Петруньок Т.Б., Григорчук О.М. Аналіз і нормалізація параметрів іонізації повітря, низькочастотного звуку та електромагнітних полів в приміщеннях з великою кількістю комп'ютерів.....	14
Дендаренко В. Ю., Кришталь Д. О., Мельник В. П., Нуянзін О. М., Удовенко М. Ю., Цвіркун С. Ю. Розробка та обґрунтування принципу роботи автоматизованої системи розрахунку витрат на гасіння пожежі	28
Єлагін Г. І., Кришталь Д. О., Алексєєв А. Г., Гавриленко Н. М., Куценко М. А. Дослідження ефективності вогнегасної дії засобів запобігання поширення пожеж на торфовищах	41
Клименко М.Б. Використання терміналів збору даних як інструменту навчання та перевірки знань з охорони праці на складських підприємствах.....	53
Костенко В.К. Експериментальні дослідження параметрів руху повітря у вироблених просторах	61
Лобойченко В.М., Хмиров І.М., Соломчук М. Цивільний захист в умовах сталого розвитку та Індустрії 5.0: виклики для відновлювальної енергетики (кейс мікрогрідів).....	70
Рудинець М.В., Федорчук-Мороз В.І. Вплив інформаційних технологій на ментальне здоров'я населення в умовах війни	83
Тимочко В.О., Городецький І.М., Вісин О.О. Виробничі небезпеки під час обслуговування та ремонту Електроустаткування.....	93
Хижняк А.А., Фірсов С.А., Ченчева О.О., Дикань С.А. Прогнозування надзвичайних ситуацій і подій під час воєнного стану	102
Цопа В.А., Чеберячко С.І., Дерюгін О.В., Лапко К.А., Станіславчук О.В. Порівняльний аналіз моделей культури безпеки в організаціях згідно вимог стандарту ISO 45001:2018.....	110

УДК 331.45

[https://doi.org/10.36910/3083-6255/2\(2\).2025.6-13](https://doi.org/10.36910/3083-6255/2(2).2025.6-13)

О.М. Боровицький

ПРОАКТИВНИЙ МЕТОД РОЗСЛІДУВАННЯ ІНЦИДЕНТІВ

Мета. Метою статті є визначення ролі інцидентів у системі управління охороною здоров'я та безпекою праці (далі – СУ ОЗтаБП) підприємства як інструменту попередження виробничого травматизму та аварій, управління професійними ризиками, удосконалення системи управління охороною праці, формування позитивної культури безпеки та здоров'я працівників на роботі, а також обґрунтування застосування міжнародних стандартів і підходів до розслідування інцидентів з метою пошуку ефективних рішень і методів їх запобігання.

Методика. Запропоновано авторську методику, що фокусується не на факті події, а на потенційній шкоді інциденту, навіть якщо немає наслідків. Інцидент розглядається як сигнал ризику, а не як подія, що вже завдала шкоди. Основні етапи методики включають:

- виявлення інциденту включаючи «Near miss», небезпечна поведінка, невідповідності процедур;
- оцінка потенційної тяжкості наслідків, що могло статися за гіршого сценарію;
- аналіз корінних причин (організаційні, технічні, поведінкові, управлінські, психофізіологічні, техногенні, природні, екологічні, соціальні та інші);
- зв'язок з реєстром професійних ризиків (корегування з оцінкою та керування ризиків);
- формування системних запобіжних та захисних засобів;
- зворотній зв'язок та навчання персоналу.

Це дозволить поєднати інциденти з ризик менеджментом та культурою безпеки праці на підприємстві який відповідає вимогам національного стандарту DCTV ISO 45001:2019 «Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці. Вимоги та настанови щодо застосування» (далі - Стандарт) як необхідний інструмент для забезпечення результативності СУ ОЗтаБП. Її також можна легко адаптувати до будь якої галузі економіки на різних небезпечних виробництвах.

Результати. Результати впровадження методики проактивного розслідування інцидентів у СУ ОЗтаБП підприємства забезпечить раннє виявлення небезпек та потенційних аварійних сценаріїв. Ідентифікація інцидентів, у тому числі подій без негативних наслідків «Near miss», дозволяє виявляти невідомі (приховані) небезпеки та потенційно небезпечні умови праці на початкових етапах, ще до виникнення виробничого травматизму або аварій. Підвищить ефективність управління професійними ризиками та можливостями. Результати розслідування інцидентів інтегруються до реєстру професійних ризиків підприємства - це дає можливість актуалізації оцінки ризиків, коригувальних дій на основі виявлених невідповідностей СУ ОЗтаБП та допомагає обґрунтовувати прийняття управлінських рішень під час реагування на потенційно небезпечні ситуації та аварії. Зменшить рівня виробничого травматизму та аварій. Усунення корінних або системних причин інцидентів сприяє запобіганню повторюваності небезпечних або потенційно небезпечних ситуацій, що в середньо та довгостроковій перспективі призводить до зниження частоти нещасних випадків та аварій. Удосконалив та поліпшив СУ ОЗтаБП. Забезпечує виявлення невідповідностей в процедурах планування, контролю та аналізу. Реалізовує цикл постійного поліпшення «Плануйте – Робіть – Перевіряйте – Дійте» (PDCA). Сформує позитивну культуру безпеки та здоров'я на роботі. Запровадження недопущення переслідування, покарання та застосування адміністративних заходів до працівників, які виявили та повідомили про невідповідності (можливості), інциденти, нещасні випадки та/чи аварії які виникли на підприємстві. Це сприятиме підвищенню залученості працівників, підвищення рівня довіри СУ ОЗтаБП, розвитку відповідального ставлення до безпеки праці. Підвищить відповідність міжнародним стандартам. Результати методики забезпечать практичну реалізацію вимог Стандарту в частині управління ризиками, аналізу небезпечних подій, коригувальних та запобіжних дій, постійного удосконалення СУ ОЗтаБП. Формує аргументацію для прийняття управлінських рішень. Отримана інформаційна база для прийняття управлінських рішень керівникам вищої ланки, планування заходів з охорони праці, проведення аудитів СУ ОЗтаБП та аналізу зі сторони керівництва.

Новизна полягає в розробленні проактивної методики до підходу розслідування інцидентів у сфері охорони праці, де інцидент розглядається не тільки як подія, що відбулася, а як індикатор потенційної шкоди, незалежно від наявності травм чи матеріальних збитків. Дозволяє оцінювати небезпеку інциденту за принципом «Що могло статися?», а не «Що сталося?», що є переходом до проактивних методів управління у СУ ОЗтаБП.

Практична значимість полягає в можливості безпосереднього використання методики проактивного розслідування інцидентів у діяльності підприємств різних галузей економіки з метою покращення рівня стану охорони праці та удосконалення СУ ОЗтаБП. Впровадження єдиного підходу реагування на інциденти, підвищення результативності керування професійними ризиками, створює єдиний класифікатор небезпек, небезпечних подій та інцидентів, зменшує рівень виробничого травматизму та втрати, підвищує рівень відповідальності працівників, забезпечує відповідність вимогам міжнародних стандартів при сертифікації, застосовується під час навчання та під час прийняття управлінських рішень.

Ключові слова: аварія, домедична допомога, інцидент, коригувальна дія, корінна причина інциденту, оцінка ризиків, очевидець, керівники вищої ланки, нещасний випадок, небезпека, невідповідність, небезпечна ситуація, небезпечна дія, проактивний, процедура, система управління охороною здоров'я і безпекою праці.

Вступ.

Створення безпечних та здорових умов праці є одним із пріоритетних завдань сучасної СУ ОЗтаБП.

Незважаючи на оновлення та впровадження нормативних вимог, технічних засобів захисту, організаційних заходів, у процесі виробничої діяльності підприємств, продовжують виникати події, що створюють загрозу життю, здоров'ю працівників і стабільності виробничих процесів. До таких подій належать інциденти, які часто передують нещасним випадкам і аваріям.

Значна частина нещасних випадків та аварій може бути попереджена шляхом своєчасного виявлення та аналізу інцидентів як засобу зниження виробничого травматизму [12], зокрема інцидентів («near misses» - майже випадок). Наукові дослідження свідчать, що реєстрація і розслідування інцидентів, включно з подіями без наслідків, є критично важливими для ідентифікації потенційних причин травм і запобігання серйознішим аваріям у майбутньому. Це пов'язано з тим, що такі події як інциденти, слугують важливим джерелом даних для оцінювання ризиків і підвищення ефективності СУ ОЗтаБП. Наприклад, дослідження показали, що аналіз звітів про «near misses» дозволяє виявити закономірності виникнення небезпек і сприяти подальшому впровадженню профілактичних заходів, які зменшують ймовірність травматизму на робочих місцях [1].

Забезпечення безпечних і здорових умов праці є одним із пріоритетних завдань сучасної СУ ОЗтаБП

Однією з важливих причин розслідування інцидентів є виявлення кореневих причин подій, а не поверхневих факторів, що сприяє розробці системних коригувальних дій. Організації, які зосереджують увагу на аналізі першопричин, а не на пошуку винних, отримують можливість покращити культуру безпеки, залучити працівників до процесу управління ризиками, а також підвищити моральний стан та продуктивність праці. Згідно з рекомендаціями Управління з охорони праці США (OSHA), розслідування інцидентів має включати діяльність як менеджменту, так і

працівників, що сприяє глибшому розумінню причин та ефективнішому впровадженню запобіжних заходів [2].

У міжнародній практиці поняття інциденту і «near miss» широко використовується як частина систем управління охороною праці, оскільки такі події розглядаються як попередники серйозніших нещасних випадків і джерело важливої інформації для вдосконалення безпеки. Міжнародні стандарти управління охороною праці, зокрема Стандарт, акцентують увагу на ризик-орієнтованому підході, де ідентифікація небезпек і аналіз інцидентів є складовими ефективного управління професійними ризиками та постійного удосконалення системи безпеки праці [3].

Додатково, наукові дослідження вказують, що адекватна реакція організації на повідомлення про «near misses» корелює зі зниженням кількості травмувань у майбутньому, а її відсутність може сприяти підвищенню частоти аварій. Це підкреслює роль проактивного підходу до аналізу небезпечних подій як одного з ключових елементів ефективної системи управління безпекою праці [4].

Таким чином, розслідування інцидентів не лише сприяє виконанню законодавчих вимог щодо охорони праці та управління ризиками, але й є важливим інструментом формування проактивної культури безпеки, що допомагає зменшити кількість нещасних випадків, покращити умови праці та підвищити загальну ефективність діяльності підприємства.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Систематичний огляд літератури про «near-miss» події в різних галузях показують, що у світовій науковій спільноті спостерігається зростаючий інтерес до аналізу інцидентів, які не призвели до травм, але є передумовами для нещасних випадків. Основна мета цих досліджень – виявлення закономірностей та впровадження профілактичних заходів для підвищення безпеки на робочих місцях [5].

Аналіз останніх досліджень показує, що у світовій науковій літературі останніх років інциденти та «near-miss» події розглядаються як ключові компоненти

проактивного управління ризиками в охороні праці. Систематичні огляди вказують на зростання уваги до кількісного та якісного аналізу таких подій для підвищення безпеки виробничого середовища. Практичні дослідження підтверджують ефективність інтеграції системи реєстрації та аналізу «near-miss» у працезахисний менеджмент підприємств, що дозволяє своєчасно виявляти небезпеки та запобігати травматизму. Окремі публікації також підкреслюють, що своєчасне розслідування інцидентів сприяє виявленню системних проблем у безпеці праці і формує основу для удосконалення організаційних заходів [6].

Сучасні практичні публікації підкреслюють важливість своєчасного розслідування інцидентів (включно з «near miss») як джерела навчання для підприємства. Зокрема, в українських публікаціях наголошується, що кожний інцидент може бути цінним джерелом інформації для виявлення слабких місць у СУ ОЗтаБП та удосконалення положень і процедур, а не лише як формальна реєстрація події [7]. Можна розробити положення про внутрішнє розслідування та аналіз інцидентів і невідповідностей та управління ними на підприємстві.

Метою статті є обґрунтування ролі інцидентів у СУ ОЗтаБП та розроблення проактивної методики їх розслідування з метою управління професійними ризиками і попередження виробничого травматизму.

Методи дослідження.

Методологічною основою дослідження є системний та ризик-орієнтований підходи з використанням загальнонаукових і спеціальних методів аналізу, що дозволяють обґрунтувати доцільність проактивного розслідування інцидентів та розробити ефективну методику їх аналізу і попередження.

Для досягнення поставленої мети у статті використано комплекс загальнонаукових і спеціальних методів дослідження, що забезпечують системний та обґрунтований підхід до вивчення проблематики розслідування інцидентів у сфері охорони здоров'я та безпеки праці.

Загальнонаукові методи:

- аналіз і синтез – для узагальнення наукових підходів до визначення понять «інцидент», «нещасний випадок», «near

miss» та їх ролі в системі управління охороною праці;

- індукція і дедукція – для формування узагальнених висновків щодо причин виникнення інцидентів і шляхів їх попередження;

- системний підхід – для розгляду інцидентів як елементу взаємопов'язаної системи управління професійними ризиками;

- логіко-структурний аналіз – для побудови послідовного алгоритму розслідування інцидентів.

Спеціальні методи:

- порівняльний аналіз – для зіставлення вимог національного законодавства та міжнародних стандартів у частині розслідування інцидентів;

- аналіз першопричин (root cause analysis) – для ідентифікації технічних, організаційних, управлінських і поведінкових факторів виникнення інцидентів;

- ризик-орієнтований метод – для оцінювання потенційних наслідків інцидентів та їх інтеграції в систему управління професійними ризиками;

- метод експертних оцінок – для обґрунтування ефективності запропонованої методики проактивного розслідування інцидентів.

Аналітично-практичні методи:

- аналіз практичних кейсів розслідування інцидентів – для перевірки застосовності методики в реальних умовах;

- моделювання управлінських рішень – для прогнозування впливу запропонованих коригувальних заходів на рівень професійних ризиків;

- узагальнення практичного досвіду служб охорони праці підприємств.

Виклад основного матеріалу.

У сучасній науковій літературі інциденти та так звані «near miss» (події без фактичних наслідків) розглядаються як важливі індикатори ризику, що передують серйознішим нещасним випадкам. Аналіз наукових публікацій різних галузей показує підвищений інтерес дослідників до теми «near-miss» як проактивного елементу управління безпекою, що дозволяє не лише описувати події, але й використовувати їх для побудови прогнозних моделей аварій та ризиків. Літературний огляд вказує на те, що, враховуючи високу частоту таких подій і

взаємозв'язок із причинами нещасних випадків, навчання на основі «near miss» є дієвою профілактичною мірою для підвищення загального рівня безпеки праці [5].

Інциденти розглядаються як попередники серйозніших подій та аварій. Західні дослідники підтверджують, що «near misses» не лише інциденти які частіші за травматичні випадки, але й мають схожу структуру причин, що дозволяє аналізувати їх як ранні попереджувальні сигнали для профілактики нещасних випадків [8].

Це узгоджується з практичними рекомендаціями у сфері охорони праці, де інциденти (включно з «near miss») розглядають як джерело знань про небезпеки, які потенційно можуть призвести до травмування або матеріальних втрат [7].

Українські дослідження підкреслюють необхідність інтеграції системи «near miss» у працезахоронний менеджмент підприємства, що дозволяє навчити персонал ідентифікувати ризики та запобігати потенційним небезпекам ще на ранніх етапах їх формування. Такий підхід формує активну культуру безпеки, де працівники залучені до системи виявлення та аналізу ризиків без страху покарання за повідомлення про інцидент [6].

Практичні публікації в галузі охорони праці підкреслюють, що своєчасне розслідування інцидентів (включно з «near miss») має бути спрямоване не на покарання, а на розуміння системних причин і запобігання повторенню подібних ситуацій. Це дозволяє, зокрема, виявляти недоліки в плануванні робіт, організації безпеки, контролі та навчанні персоналу [7].

Одним із важливих практичних аспектів є розуміння інцидентів як частини вимог СУ ОЗтаБП, де значна кількість «near miss» подій передують меншій кількості серйозних травм. Відповідно до цієї концепції, аналіз першопричин інцидентів сприяє зниженню ймовірності серйозних аварійних ситуацій [7].

Досвід впровадження практик розслідування інцидентів показує, що запровадження недопущення переслідування, покарання та застосування адміністративних заходів до працівників, які виявили та повідомили про інциденти, нещасні випадки чи аварії, події які

виникли на підприємстві сприяє підвищенню рівня довіри між працівниками та керівництвом. Це, у свою чергу, сприяє збільшенню кількості повідомлень про інциденти «near miss» події та кращому розумінню системних ризиків, що в результаті посилює культуру безпеки й зменшує частоту серйозних нещасних випадків [6].

Сучасні дослідження підкреслюють, що для ефективної профілактики виробничих ризиків недоцільно розглядати нещасні випадки як єдині джерела даних. Замість цього необхідно системно аналізувати всі небажані події [5], включно з інцидентами та «near miss», використовуючи кількісні та якісні методи – це забезпечує ширший інформаційний масив для прогнозування подій та коригування профілактичних заходів.

Систематичний огляд підтверджує, що «near miss» події виступають ефективними інструментами для профілактики серйозних нещасних випадків, оскільки їх аналіз дозволяє прогнозувати потенційні загрози на робочих місцях [5].

Обговорення результатів.

Отримані результати підтверджують доцільність розгляду інцидентів, зокрема подій типу «near miss», як одного з ключових елементів проактивної СУ ОЗтаБП. Аналіз наукових джерел свідчить, що інциденти значно частіше трапляються, ніж нещасні випадки з травматичними наслідками, і при цьому мають подібну структуру причин, що дозволяє використовувати їх як ранні індикатори небезпек [5].

Результати дослідження узгоджуються з концепцією «піраміди безпеки», згідно з якою значна кількість інцидентів і небезпечних подій передують одиничним тяжким аваріям або смертельним випадкам. Це підтверджує тезу про те, що зменшення кількості інцидентів шляхом їх системного аналізу сприяє зниженню загального рівня виробничого травматизму.

Запропонована проактивна методика розслідування інцидентів, орієнтована на оцінку потенційної тяжкості наслідків та пошук першопричин, відповідає сучасним міжнародним підходам до управління ризиками, викладеним у Стандарті. Зокрема, стандарт наголошує на необхідності аналізу інцидентів як джерела інформації для

постійного поліпшення системи управління охороною праці, а не лише як формальної процедури реагування [3].

Порівняння результатів з українськими науковими публікаціями показує, що впровадження систем обліку та аналізу інцидентів на підприємствах сприяє підвищенню рівня ідентифікації небезпек і формуванню превентивних заходів, однак на практиці такі системи часто мають формальний характер або застосовуються лише після настання нещасних випадків. Це обмежує їх профілактичний потенціал і підтверджує необхідність зміни акценту з реактивного на проактивний підхід.

Важливим результатом є також обґрунтування ролі недопущення переслідування, покарання та застосування адміністративних заходів до працівників, які виявили та повідомили про невідповідності (можливості), інциденти, нещасні випадки та/чи аварії, які виникли на підприємстві. Наукові дослідження доводять, що страх покарання знижує рівень кількості повідомлень про небезпечні події, що призводить до втрати критично важливої інформації про ризики. Запропонована методика передбачає використання інцидентів як інструменту навчання організації, що позитивно впливає на формування культури безпеки та залученість працівників.

Таким чином, результати дослідження підтверджують, що системне та проактивне розслідування інцидентів:

- підвищує ефективність управління професійними ризиками;
- дозволяє виявляти приховані організаційні та управлінські недоліки;
- сприяє формуванню позитивної культури безпеки;
- забезпечує відповідність міжнародним стандартам у сфері охорони праці.

Важливим етапом є розробка практичного інструменту для обліку та аналізу інцидентів у вигляді положення внутрішнього розслідування та аналізу інцидентів і невідповідностей та управління ними на підприємстві. До основних розділів положення повинно входити:

- сфера застосування;
- нормативні посилання;
- терміни та визначення;

- загальні вимоги;
- порядок проведення внутрішніх розслідувань та аналізу інцидентів: мета та принципи внутрішнього розслідування інцидентів, класифікація інцидентів, розслідування різних видів інцидентів за методикою чи процедурою тощо.

- оперативне інформування про інциденти;
- комісії з розслідування інцидентів;
- визначення корінних причин інциденту;
- управління інцидентами.

Висновок.

Встановлено, що інциденти, зокрема події типу near miss, є важливим інформаційним ресурсом для системи управління охороною здоров'я та безпекою праці, оскільки відображають наявні та приховані професійні ризики ще до настання нещасних випадків і аварій.

Обґрунтовано доцільність розслідування інцидентів незалежно від наявності фактичних наслідків. Доведено, що системний аналіз таких подій дозволяє виявляти першопричини небезпечних ситуацій, усувати організаційні та управлінські недоліки й запобігати повторенню аналогічних подій у майбутньому.

Показано, що застосування проактивної методики розслідування інцидентів, орієнтованої на оцінку потенційної тяжкості наслідків та інтеграцію результатів у процес управління професійними ризиками, підвищує результативність функціонування системи управління охороною праці на підприємстві.

Визначено, що ефективне розслідування інцидентів можливе лише за умов безкарального підходу та активної участі працівників у процесі повідомлення про небезпечні події. Такий підхід сприяє формуванню позитивної культури безпеки та здоров'я на роботі, підвищує рівень довіри до управлінських рішень у сфері охорони праці.

Підтверджено відповідність запропонованого підходу вимогам Стандарту, аналізу інцидентів, впровадження коригувальних дій та постійного поліпшення системи управління охороною здоров'я та безпекою праці.

Результати дослідження можуть бути використані для удосконалення внутрішніх

процедур розслідування інцидентів, актуалізації реєстрів професійних ризиків, підвищення рівня профілактики виробничого травматизму та аварій, а також для розроблення навчальних програм з охорони праці.

Застосування методики проактивного розслідування інцидентів забезпечує перехід

від реактивного реагування на нещасні випадки до системного управління професійними ризиками, що сприяє підвищенню рівня безпеки праці, збереженню здоров'я працівників та сталому розвитку підприємства.

Список літератури

1.Emily J Haas, Brendan Demich, Joseph McGuire Learning from Workers' Near-miss Reports to Improve Organizational Management Min Metall Explor. 2020 Jan 22;37(3):873–885. doi: 10.1007/s42461-020-00206-9 https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7458492/?utm_source=chatgpt.com#S2.

2. Розслідування інцидентів. Адміністрація з охорони праці та техніки безпеки. Міністерство праці США. https://www.osha.gov/incident-investigation?utm_source=chatgpt.com%20.

3.ДСТУ ISO 45001:2019 «Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці. Вимоги та настанови щодо застосування» (ISO 45001:2018, IDT).

4. Mizuho Inagaki ,Tomohisa Nagata ,Kiminori Odagami ,Nuri Purwito Adi, Koji Mori, for the W2S-Ohpm study Relationship between a company's adequate response to near-misses and occupational accidents: a 1-year prospective cohort study. Journal of Occupational Health, Volume 66, Issue 1, January-December 2024, uiae053, <https://doi.org/10.1093/joccu/uiae053>. <https://academic.oup.com/joh/article/66/1/uiae053/7748225>.

5.Zuzanna Wozniak, Bozena Hola. Analysing Near-Miss Incidents in Construction: A Systematic Literature Reviw. Department of Materials Engineering and Construction Processes, Faculty of Civil Engineering, Wroclaw University of Science and Technology, 50-370 Wroclaw, Poland. Appl. Sci 2024, 14(16), 7260, <https://doi.org/10.3390/app14167260>. Civil Engineering. https://www.mdpi.com/2076-3417/14/16/7260?utm_source=chatgpt.com.

6.Власюк, Є. Підвищення рівня безпеки праці на робочих місцях через інтеграцію системи "Near Miss" у працезахоронний менеджмент підприємства / Є. Власюк, А. Сірик, О. Євтушенко // Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті : матеріали 91-ї Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів, 7–11 квітня 2025 р., м. Київ. – Київ : НУХТ, 2025. – Ч. 2. – С. 189. [https://dspace.nuft.edu.ua/items/7459a205-34e0-](https://dspace.nuft.edu.ua/items/7459a205-34e0-4790-abb5-540fc1b11b0b?utm_source=chatgpt.com)

4790-abb5-540fc1b11b0b?utm_source=chatgpt.com.

7.Анатолій Алексєєв. Розслідуємо інциденти своєчасно. Науково-виробничий журнал «Охорона праці» № 5/2025 15.05.2025 https://ohoronapraci.kiev.ua/article/news/rozslidue-mo-incidenti-svoecasno?utm_source=chatgpt.com.

8.Zuzanna Woźniak, Bożena Hoła The structure of near misses and occupational accidents in the polish construction industry. 2024 Feb 14;10(4):e26410.doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e26410. eCollection 2024 Feb 29. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e26410. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38390047/>.

9.Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 №2694-ХІІ (із змінами).

10. ДСТУ 2293:2014 «Охорона праці. Терміни та визначення понять», прийнятий наказом Міністерства економічного розвитку і торгівлі України від 02.12.2014 №.

11. ДСТУ ISO 22320:2022 «Безпека та адаптивність. Управління в надзвичайних ситуаціях. Настанови щодо управління інцидентами.

12. Вісин О.О., Клименко М.Б. Система обліку і аналізу інцидентів як засіб зниження виробничого травматизму. Науковий вісник ДонНТУ №1(12), 2024. <https://visnyk.donntu.edu.ua/wp-content/uploads/2024/08/6.pdf>

References

1. Haas, E. J., Demich, B., & McGuire, J. (2020). Learning from workers' near-miss reports to improve organizational management. Minerals and Metallurgical Exploration, 37(3), 873–885. <https://doi.org/10.1007/s42461-020-00206-9> (in English)

2. Occupational Safety and Health Administration. (n.d.). Incident investigation. U.S. Department of Labor. Retrieved December 30, 2025, from https://www.osha.gov/incident-investigation?utm_source=chatgpt.com (in English)

3. Ukrainian Research and Training Center for Standardization, Certification and Quality (UkrNDNC). (2019). Occupational health and safety management systems — Requirements with guidance for use (DSTU ISO 45001:2019, identical to ISO 45001:2018). Retrieved December 30, 2025,

from https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=88004 (in Ukrainian)

4. Inagaki, M., Nagata, T., Odagami, K., Adi, N. P., & Mori, K. (2024). Relationship between a company's adequate response to near-misses and occupational accidents: A 1-year prospective cohort study. *Journal of Occupational Health*, 66(1), Article uiae053. <https://doi.org/10.1093/joccuh/uiae053> (in English)

5. Woźniak, Z., & Hoła, B. (2024). Analysing near-miss incidents in construction: A systematic literature review. *Applied Sciences*, 14(16), 7260. <https://doi.org/10.3390/app14167260> (in English)

6. Vlasuk, Y., Siryk, A., & Yevtushenko, O. (2025). Enhancing workplace safety through the integration of a "Near-Miss" system into enterprise occupational safety management // *Scientific Achievements of Youth – Solving the Problems of Human Nutrition in the 21st Century: Proceedings of the 91st International Scientific Conference of Young Scientists, Postgraduates and Students*, April 7–11, 2025, Kyiv (Part 2, p. 189). National University of Food Technologies. (in Ukrainian)

7. Alekseev, A. (2025, May 15). Investigate incidents in a timely manner. *Ohorona pratsi*. Retrieved December 30, 2025, from <https://ohoronapraci.kiev.ua/article/news/rozslidue-mo-incidenti-svoecasno> (in English)

8. Woźniak, Z., & Hoła, B. (2024). The structure of near misses and occupational accidents

in the Polish construction industry. *Heliyon*, 10(4), e26410.

<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e26410> (in English)

9. Law of Ukraine "On Labour Protection", No. 2694-XII, October 14, 1992. Retrieved December 30, 2025, from <https://zakon.rada.gov.ua/go/2694-12> (in Ukrainian)

10. National Standard of Ukraine DSTU 2293:2014 Occupational Safety and Health. Terms and definitions of basic concepts. (2014). Kyiv: Ministry of Economic Development of Ukraine. Retrieved December 30, 2025, from https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=61781 (in Ukrainian)

11. International Organization for Standardization. (2018). Security and resilience — Emergency management — Guidelines for incident management (ISO 22320:2018). Geneva, Switzerland: ISO. Retrieved December 30, 2025, from https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=99547 (in English)

11. Visyn, O. O., & Klymenko, M. B. (2024). System of incident recording and analysis as a tool for reducing occupational injuries. *Scientific Bulletin of DonNTU*, 1(12). Retrieved from <https://visnyk.donntu.edu.ua/wp-content/uploads/2024/08/6.pdf> (in Ukrainian)

Боровицький Олександр Миколайович – PhD, доцент кафедри цивільної безпеки, Луцький національний технічний університет, (вул. Львівська, 75, Луцьк, Волинська область, 43018, Україна).

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1111-7960>

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

PROACTIVE INCIDENT INVESTIGATION METHOD

Purpose of this article is to determine the role of incidents in the occupational health and safety management system (hereinafter referred to as OHSMS) of an enterprise as a tool for preventing occupational injuries and accidents, managing occupational risks, improving the occupational health and safety management system, forming a positive culture of safety and health for employees at work, as well as justifying the application of international standards and approaches to investigating incidents in order to find effective solutions and methods for preventing them.

Methodology. The author proposes a methodology that focuses not on the fact of the event, but on the potential harm of the incident, even if there are no consequences. The incident is considered a risk signal, not an event that has already caused harm. The main stages of the methodology include:

- identification of incidents, including near misses, dangerous behavior, and procedural non-compliance;
- assessment of the potential severity of consequences that could have occurred in the worst-case scenario;
- analysis of root causes (organizational, technical, behavioral, managerial, psychophysiological, man-made, natural, environmental, social, and others);
- connection with the occupational risk register (adjustment with risk assessment and management);
- development of systemic preventive and protective measures;
- feedback and staff training.

This will allow incidents to be linked to risk management and occupational safety culture at the enterprise in accordance with the requirements of the national standard DSTU ISO 45001:2019 "Occupational health and safety management systems. Requirements and guidelines for use" (hereinafter referred to as the Standard) as a necessary tool for ensuring the effectiveness of the OHSMS. It can also be easily adapted to any sector of the economy in various hazardous industries.

Results. The results of implementing proactive incident investigation methods in the enterprise's OHSMS will ensure early detection of hazards and potential accident scenarios. Identification of incidents, including near misses, allows for the detection of unknown (hidden) hazards and potentially hazardous working conditions at an early stage, before occupational injuries or accidents occur. It will improve the effectiveness of occupational risk and opportunity management. The results of incident investigations are integrated into the enterprise's occupational risk register, which makes it possible to update risk assessments and corrective actions based on identified OHSMS non-conformities and helps to justify management decisions when responding to potentially dangerous situations and accidents. Reduce the level of industrial injuries and accidents. Eliminating the root or systemic causes of incidents helps prevent the recurrence of dangerous or potentially dangerous situations, which in the medium and long term leads to a reduction in the frequency of accidents and incidents. Improve and enhance the OHSMS. Ensures the identification of non-conformities in planning, control, and analysis procedures. Implements the Plan-Do-Check-Act (PDCA) cycle of continuous improvement. Creates a positive culture of safety and health at work. Introduces a policy of non-retaliation, non-punishment, and non-application of administrative measures against employees who have identified and reported non-conformities (opportunities), incidents, accidents, and/or emergencies that have occurred at the enterprise. This will contribute to increased employee engagement, increased trust in the OHSMS, and the development of a responsible attitude towards occupational safety. It will increase compliance with international standards. The results of the methodology will ensure the practical implementation of the Standard's requirements in terms of risk management, analysis of hazardous events, corrective and preventive actions, and continuous improvement of the OHSMS. It provides arguments for management decision-making. Provides an information base for senior management to make management decisions, plan occupational safety measures, conduct OHSMS audits, and perform management reviews.

Scientific novelty it consists in developing a proactive methodology for investigating occupational safety incidents, where an incident is considered not only as an event that has occurred, but as an indicator of potential harm, regardless of the presence of injuries or material damage. It allows assessing the danger of an incident based on the principle of “What could have happened?” rather than “What happened?”, which is a transition to proactive management methods in the OHSMS.

Practical significance lies in the possibility of directly using the proactive incident investigation methodology in the activities of enterprises in various sectors of the economy in order to improve the level of occupational safety and health and improve the OSHMS. The implementation of a unified approach to responding to incidents and improving the effectiveness of occupational risk management creates a unified classifier of hazards, dangerous events, and incidents, reduces the level of occupational injuries and losses, increases the level of employee responsibility, ensures compliance with international standards during certification, and is used during training and management decision-making.

Keywords: accident, first aid, incident, corrective action, root cause of an incident, risk assessment, eyewitness, senior management, accident, hazard, non-compliance, dangerous situation, dangerous action, proactive, procedure, occupational health and safety management system.

Oleksandr Borovytskyi – PhD, associate professor Department of Civil Security, Lutsk National Technical University (Lvivska Street, 75, Lutsk, Volyn Oblast, 43018, Ukraine).

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1111-7960>

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

УДК 628.5/8:614.7

[https://doi.org/10.36910/3083-6255/2\(2\).2025.14-27](https://doi.org/10.36910/3083-6255/2(2).2025.14-27)

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

АНАЛІЗ І НОРМАЛІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ІОНІЗАЦІЇ ПОВІТРЯ, НИЗЬКОЧАСТОТНОГО ЗВУКУ ТА ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПОЛІВ В ПРИМІЩЕННЯХ З ВЕЛИКОЮ КІЛЬКІСТЮ КОМП'ЮТЕРІВ

Мета. Здійснити комплексне дослідження динаміки і нормалізації кількісних характеристик шкідливих фізичних чинників, що не сприймаються безпосередньо органами чуття користувачів, у приміщеннях і на робочих місцях, з великою кількістю комп'ютерів і оргтехніки. Це дозволить розробити заходи забезпечення нормативних умов праці користувачів персональною комп'ютерною технікою.

Методологія. Проведення вимірювань концентрації позитивних і негативних іонів повітря, рівнів низькочастотного звуку та інфра звуку, а також напруженості електричної та індукції магнітної складових електромагнітних полів в приміщеннях з великою кількістю комп'ютерної техніки. Визначення динаміки значень фізичних чинників середовища у просторі та часі, здійснення аналізу негативного впливу комп'ютерної техніки та допоміжних пристроїв для визначення умов та засобів їх нормалізації.

Результати. Проведено оцінку генерації іонів різними моделями копіювальної техніки і модернізованих лазерних принтерів. Встановлено, що концентрація утворених іонів може досягати 1500 см^{-3} для лазерних принтерів та 2800 см^{-3} для струменевих принтерів. Визначено, що на відстані 1,0–1,5 м концентрація іонів повітря повертається до фонових рівнів. Показано, що робота одного системного блоку є основним наднормативним фактором під час експлуатації переносних комп'ютерів, оскільки його електричні поля з напруженістю до 9 кВ/м призводять до зменшення концентрації легких аероіонів у зоні перебування користувача (позитивних іонів приблизно на 100 см^{-3} , а негативних – на 200 см^{-3}). Встановлено, що різниця між рівнями звуку, зареєстрованими за шкалами «Lin» і «A», становить до 24 дБ. Це вказує на істотний вплив інфра звуку на організм користувачів. З'ясовано, що сучасні монітори не створюють електромагнітних полів, інтенсивність яких перевищувала б гігієнічно допустимі межі. При цьому системні блоки генерують електричні поля величиною 18–22 В/м і магнітні поля 220–245 нТл, що межують із гранично допустимими рівнями. Виявлено, що джерела безперебійного живлення та люмінесцентні світильники створюють магнітні поля підвищеної інтенсивності – до 2250 нТл і 2300 нТл відповідно. Досліджено спектральний склад і амплітуду магнітних полів зовнішніх джерел живлення ноутбуків.

Новизна. Визначено особливості динаміки аероіонного складу повітря у приміщеннях з великою кількістю комп'ютерної техніки, амплітудно-частотних характеристик низькочастотного звуку та інфра звуку, визначені особливості амплітудно-частотних характеристик електромагнітних полів, що дозволило надати рекомендації щодо їх нормалізації та підтримання в межах нормативних параметрів.

Практична значимість. Для нормалізації концентрації іонів повітря на робочих місцях необхідно впроваджувати системи штучної іонізації повітря. Для зниження істотного впливу інфра звуку та низькочастотного звуку на організм користувачів рекомендовано застосовувати мембранні звукопоглинальні екрани, налаштовані на їх резонансні частоти. Обґрунтовує потребу впровадження систем зменшення інтенсивності електростатичних полів на робочих місцях. Для захисту від впливу електромагнітних полів широкочастотного діапазону рекомендовано застосування розроблених та запатентованих матеріалів.

Ключові слова: комп'ютер, ноутбук, іонізація повітря, інфра звук, низькочастотний звук, електромагнітне поле.

Вступ.

Комп'ютерна техніка сьогодні є одним із ключових інструментів у багатьох сферах і видах діяльності – від навчальної до виробничої, організаційної та наданні послуг. Працівники, які використовують комп'ютери для виконання своїх професійних обов'язків, здійснюють діяльність, від точності та надійності якої залежить безпека людей, стабільність функціонування підприємств і якості

кінцевої продукції. Саме тому створення сприятливих і безпечних умов праці для цієї категорії персоналу є вкрай важливим. Переважна частина досліджень присвячена фізичним параметрам, заважаючого або дратуючого характеру – мікроклімату та шумовому навантаженню. Але на стан працівників суттєво впливають різні шкідливі фізичні чинники виробничого середовища, що не сприймаються безпосередньо органами чуття людини:

рівень іонізації повітря, рівень інфразвуку та низькочастотного звуку, електромагнітні поля, через що до їх дослідження і нормування звертаються значно рідше.

Необхідність підтримувати параметри фізичних факторів на безпечному та комфортному рівні в приміщеннях із комп'ютерною технікою визначається європейськими нормативами [1]. Загальні граничні величини фізичних факторів середовища визначені відповідними нормативними документами [2]. Рівні електромагнітних полів на робочих місцях регламентує міжнародний стандарт MPR II [3], а ще жорсткіші вимоги містить рекомендаційний стандарт ТСО [4].

Більшість чинних норм встановлює вимоги до стану середовища у статичному режимі, хоча в реальних умовах параметри на робочих місцях можуть змінюватися під впливом зовнішніх і внутрішніх чинників. У зв'язку з цим особливої актуальності набуває дослідження динаміки фізичних факторів середовища як у приміщеннях, так і на робочих місцях користувачів комп'ютерів і оргтехніки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Дослідженню таких шкідливих фізичних факторів, як концентрація аероіонів, рівні інфразвуку та низькочастотного звуку, значення електромагнітних полів, приділена недостатня увага через відсутність скарг, оскільки вони не сприймаються органами чуття людини.

У роботі [5] розглянуто особливості формування іонного середовища поблизу комп'ютерної техніки. Показано, що присутність користувача не чинить помітного впливу на рівень аероіонів, а головними чинниками зміни їх концентрації виступають повітряні потоки, створені вентилятором, та електростатичні заряди на корпусі пристрою. Дослідження [6] зосереджене на числовому моделюванні переміщення іонів у приміщеннях із джерелами іонізації та деіонізації, зокрема при наявності декількох комп'ютерних робочих місць. Отримані результати демонструють значний вплив просторової конфігурації розташування обладнання та наявних перегородок на структуру іонного поля.

Наукові дослідження щодо створення інфразвукових і низькочастотних акустичних полів комп'ютерною технікою наразі нечисленні. Проте в дослідженні [7] продемонстровано, що у загальному спектрі шуму комп'ютерних систем переважають низькочастотні компоненти, які й формують основне акустичне навантаження. Це вимагає проведення глибших досліджень рівнів низькочастотного звуку та інфразвуку в робочих зонах з комп'ютерами і технікою.

Попри все, найбільш поширеними залишаються дослідження електромагнітних полів, що виникають під час роботи персональної комп'ютерної техніки. У праці [8] йдеться про фіксацію поблизу ноутбука значень магнітної індукції низькочастотного діапазону, які перевищують гранично допустимі значення. Водночас не ідентифіковано джерела поля: ним могли бути як елементи самої техніки, так і зовнішні фактори – блоки живлення або силова електромережа будівлі. У роботі [9] наведено ще вищі значення індукції – до 0,5 мкТл на поверхні переносного комп'ютера. У публікації [10] здійснено вимірювання полів з різних боків пристрою, проте рекомендована відстань, на якій рівень індукції становить 0,4 мкТл, що перевищує нормативні значення [1].

Отже, потребують уточнення й дослідження показники іонізації повітря: важливо оцінити ефективність технічних засобів іонізації та деіонізації та визначити умови, за яких можна підтримувати стабільну концентрацію аероіонів різних знаків. Також необхідно отримати об'єктивні дані щодо рівнів інфразвуку та низькочастотного шуму на робочих місцях, а також розробити методи зменшення їхнього впливу. Не менш актуальною є комплексна оцінка фізичних чинників, що створюються сучасними комп'ютерами і не відчуються людиною, – насамперед значень характеристик електромагнітних полів, їх джерел та шляхів нормалізації. Систематичний контроль параметрів робочого середовища у приміщеннях з персональними і переносними комп'ютерами дасть змогу отримати реальні дані про рівні фізичних чинників, їх часові та просторові коливання, а також визначити технічні джерела їхнього формування. Це стане підґрунтям для створення ефективних заходів з нормалізації та підтримання на

нормативному рівні іонного складу повітря, інфразвукових та низькочастотних шумів, а також електромагнітних полів.

Мета дослідження

Метою даного дослідження є визначення просторових і часових змін значень іонізації повітря, рівнів низькочастотного звуку (інфразвуку) та силових характеристик електромагнітних полів у приміщеннях з великою кількістю комп'ютерів і оргтехніки. Дозволить розробити заходів нормалізації умов праці користувачів персональних комп'ютерів.

Методи дослідження

Для отримання результатів дослідження було досліджено негативний вплив персональних комп'ютерів, допоміжних пристроїв і оргтехніки на значення динаміки фізичних чинників середовища. А саме, зміна у просторі та часі іонізації повітря, низькочастотного звуку та інфразвуку, силових характеристик електромагнітних полів у приміщеннях з великою кількістю комп'ютерної техніки.

Були виконані обстеження у приміщеннях з великою кількістю стаціонарних комп'ютерів з рідкокристалічними моніторами найпоширеніших діагоналей, а також виконані обстеження робочих місць з ноутбуків. Окремо аналізувався можливий вплив периферійних пристроїв та допоміжного обладнання, зокрема принтерів і роутерів, на показники фізичних чинників.

Для встановлення концентрації іонів обох знаків використовували прилад «Сапфір 3К». Параметри мікроклімату — температуру та відносну вологість — фіксували комбінованим вимірювачем CX601D. Показники низькочастотного шуму та інфразвуку реєстрували шумоміром «SVAN 979» виробництва SVANTEK. Усе вимірювальне обладнання було перевірено та застосовувалося відповідно до експлуатаційної документації.

Вимірювання рівнів електромагнітних полів здійснювали за допомогою спектроаналізатора Spectran 5035, який підтримує режим ТСО та дозволяє визначати інтегральні напруженості електричних і магнітних полів у діапазонах 5 Гц–2 кГц і 2–400 кГц відповідно до вимог нормативних документів [1, 3].

Оцінювання кількісних параметрів фізичних чинників проводилося згідно зі стандартною методикою ТСО [4]. Дослідні роботи виконували у приміщеннях, що відповідали нормативам щодо мінімальної площі (6 м²) та об'єму (20 м³) на одне робоче місце з комп'ютерною технікою [3].

Під час експериментів температура повітря, відносна вологість, швидкість руху повітря були в межах, визначених ергономічними вимогами до офісної роботи з візуальними терміналами [2].

Виклад основного матеріалу

У рамках дослідження було проаналізовано зміну концентрацій позитивних і негативних іонів у повітрі на робочих місцях та в приміщеннях з великою кількістю комп'ютерної техніки.

Вимірювання проводили в кімнаті, обладнаній десятьма персональними комп'ютерами однакової конфігурації з рідкокристалічними моніторами. Усі пристрої працювали в ідентичному режимі, виконуючи однакове програмне завдання. Потужність системних блоків становила 600 Вт. Механічна (примусова) вентиляція у кімнаті була відсутня. Параметри приміщення відповідали нормативним вимогам: на кожне робоче комп'ютеризоване місце припадало 6 м² площі та 20 м³ об'єму.

Початок відліку часу відповідав фоновому стану іонного складу повітря за вимкненого обладнання. До таблиці 1 вносили усереднені значення концентрацій, отримані в кожній серії послідовних вимірювань.

Таблиця 1

Значення концентрацій іонів обох полярностей (n^- , n^+) з часом роботи стаціонарних комп'ютерів

t, год	n, см ⁻³	
	n^-	n^+
0	520	590
1	490	560
2	480	450
3	460	380
4	440	390
5	440	380

У межах нормативного об'єму один комп'ютер протягом трьох годин безперервної роботи зменшує концентрацію негативних іонів приблизно на 100 см^{-3} , а позитивних – орієнтовно на 200 см^{-3} . Після цього етапу спостерігається стабілізація значень. Під час проведення вимірювань у приміщенні не перебували люди, а рівні електризації поверхонь змінювалися лише в межах похибки приладів. Це дало змогу зробити висновок, що деіонізація повітря пов'язана саме з роботою стаціонарних комп'ютерів.

Додаткові перевірки за використання обладнання інших моделей підтвердили отримані результати: відхилення відповідали межах похибки, що засвідчує

стійкість ефекту. Таким чином, стаціонарні персональні комп'ютери спричиняють зниження концентрацій іонів у повітрі до рівнів, що є нижчими за нормативні.

У зв'язку з установленим ефектом постає необхідність застосування систем штучної іонізації повітря в приміщеннях, де функціонує значна кількість комп'ютерної техніки. Водночас інші технічні засоби, що зазвичай використовуються поруч із комп'ютерами, можуть чинити різний вплив на іонний склад повітря. Зокрема, було проведено вимірювання концентрацій утворених пар іонів обох знаків на відстані 0,5 м від працюючих лазерних принтерів різних виробників та струменевими принтерів (таблиця 2).

Таблиця 2

Утворення пар іонів обох знаків лазерними принтерів різних виробників та струменевими принтерами

Копіювальний апарат	Кількість пар іонів, см^{-3}
Лазерний прилад виробника № 1	760–930
Лазерний прилад виробника № 2	800–940
Лазерний прилад виробника № 3	1220–1400
Лазерний прилад виробника № 4	1700–1900
Лазерний прилад виробника № 5	1350–1500
Струменевий персональний принтер формату А4	440–650
Стаціонарний струменевий принтер формату А4	1750–2100
Стаціонарний струменевий принтер формату А5-А3	2500–2800

Суттєві відмінності у вимірних значеннях можна пояснити неоднаковою продуктивністю окремих моделей принтерів, а також варіаціями мікрокліматичних параметрів, зокрема відносно вологості повітря в різних приміщеннях.

Аналіз результатів, наведених у таблиці 2, свідчить, що копіювальне обладнання усіх видів сприяє значному підвищенню концентрацій пар іонів у повітрі. Просторово-часові закономірності такого розподілу можуть бути оцінені за допомогою аналітичних залежностей, поданих у роботі [6]. Водночас необхідно враховувати, що в зоні подачі паперу в принтерах і копіювальних апаратах відбуваються коронні розряди, які

забезпечують утворення пар іонів, але паралельно супроводжуються утворенням озону та оксидів азоту. Ці продукти можуть мати негативний вплив на здоров'я людини, що зумовлює потребу в окремому комплексному дослідженні цього процесу.

Додатково було проаналізовано рівні низькочастотного звуку й інфразвукових коливань у приміщеннях, де експлуатуються стаціонарні комп'ютери. Основним джерелом акустичного навантаження таких систем є вентилятори охолодження. Було здійснено вимірювання загальних рівнів звукового тиску вентиляторів різної продуктивності та потужності (таблиця 3). При цьому фонові значення шуму не перевищували 5 дБА.

Таблиця 3

Характеристики різних типів вентиляторів для запобігання перегріву системних блоків

№	Потужність, Вт	Швидкість обертання, хв ⁻¹	Продуктивність, м ³ /хв	Рівень звуку, дБА
1	1,0	2400	0,7	29
2	1,7	1900	1,8	34
3	2,5	3400	1,3	41
4	6,0	4300	1,3	49
5	10,0	1800	1,4	53
6	12,0	3400	4,5	55

Аналіз отриманих результатів показав, що акустичні параметри останніх трьох моделей вентиляторів перевищують гранично допустимі рівні шуму для даного типу обладнання.

Додатково було виконано

вимірювання частотного спектра акустичних коливань, сформованих стаціонарним комп'ютером; графічне представлення спектральних характеристик наведено на рисунку 1.

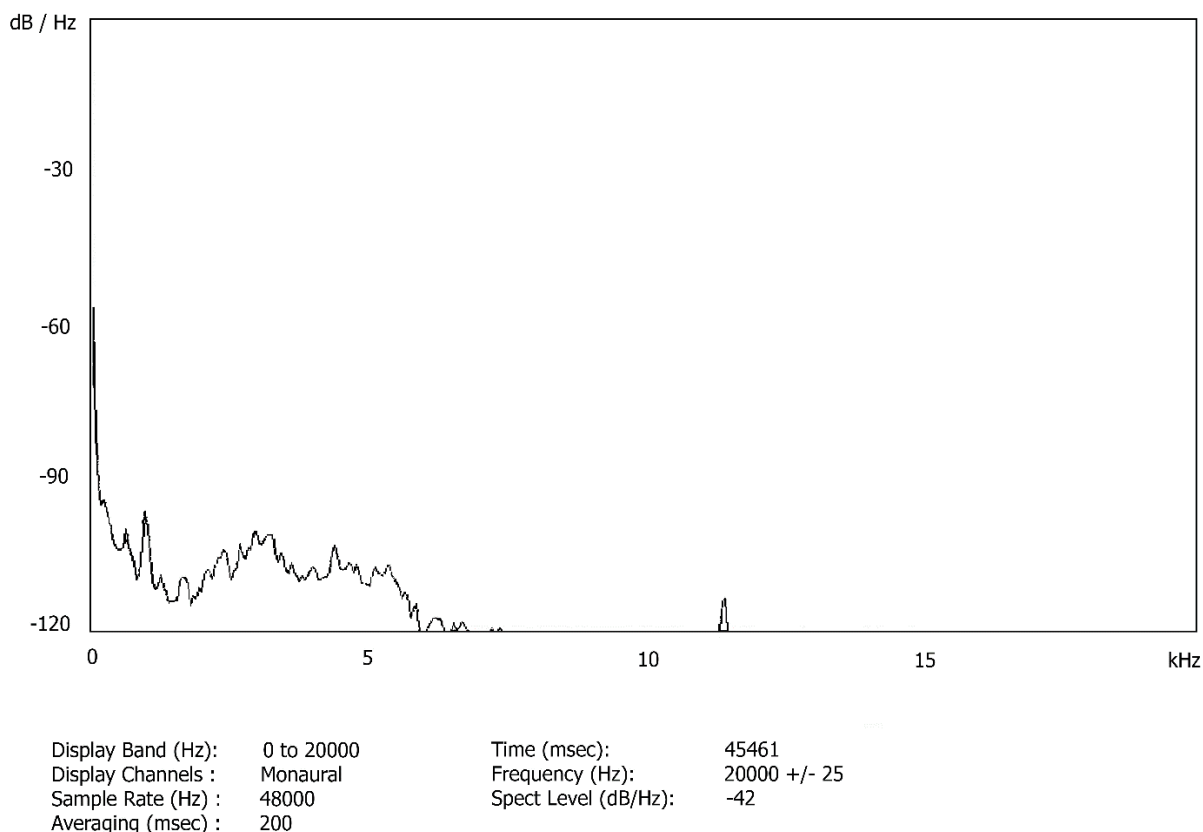


Рис. 1. Акустичний спектр системного блока стаціонарного комп'ютера

Аналіз спектральних характеристик показує, що основна енергія акустичних коливань зосереджена в діапазоні низьких частот. Водночас рівні інфразвукової компоненти сягають значень до 65 дБ.

Додатково було виконано

вимірювання параметрів інфразвуку у приміщенні, де паралельно реєструвалися й інші фізичні чинники за умов роботи десяти персональних комп'ютерів у штатному режимі (таблиця 4).

Таблиця 4

Рівні інфразвуку у октавних смугах частот у приміщенні з великою кількістю комп'ютерів

f , Гц	2	4	8	16
L_{lin} , дБ	92	77	74	71

За результатами вимірювань встановлено, що рівень звукового тиску за лінійною характеристикою становить близько $L_{lin} \approx 74$ дБ, тоді як за шкалою корекції «А» він дорівнює $L_A \approx 56$ дБА. Домінуючий внесок у сумарний акустичний фон формують коливання в діапазоні 500–1000 Гц. Значна різниця між показами за шкалами «Lin» та «A» вказує на відчутну присутність інфразвукових компонентів у досліджуваному просторі.

Однією з характерних властивостей низькочастотних та інфразвукових хвиль є незначне їх затухання при поширенні. Через це акустичний стан приміщення може змінюватися під впливом зовнішніх джерел, розташованих на значних відстанях. Для зменшення такого впливу доцільно застосовувати облицювання стін матеріалами мембранного типу. Найбільша ефективність поглинання досягається на

резонансній частоті, яка визначається з виразу:

$$f_r = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{F}{\rho t b}}, \quad (1)$$

де ρ – густина матеріалу мембрани, l , b , t – довжина, ширина та товщина мембрани відповідно.

При цьому на практиці резонансна частота уточнюється експериментально, шляхом визначення пікової амплітуди у відповідних октавних або третинооктавних смугах.

У подальших дослідженнях було проаналізовано вплив портативних комп'ютерів на концентрацію позитивних та негативних іонів у повітрі.

Спочатку оцінювали зміну іонного складу під час роботи шести ноутбуків, розміщених у приміщенні без механічної вентиляції. Значення концентрації аероіонів відповідали фоновим перед увімкненням обладнання; користувачів у приміщеннях під час вимірювань не було. Потім аналогічні вимірювання проводились, під час роботи користувачів за ноутбуками. Підсумкові результати наведено в таблиці 5.

Таблиця 5

Динаміка іонного складу повітря на робочих місцях під час роботи персональних комп'ютерів

Час, год	Без користувачів ноутбуків		З користувачами ноутбуками	
	n^- , см ⁻³	n^+ , см ⁻³	n^- , см ⁻³	n^+ , см ⁻³
0	360	490	540	660
1	350	495	490	640
2	360	480	410	560
3	340	470	320	430

Аналіз даних таблиці 5 показує, що самі ноутбуки практично не впливають на рівень іонізації повітря – зафіксовані зміни не перевищують межі похибки вимірювального приладу. Під час виконання роботи користувача ноутбуком спостерігається істотне падіння концентрації іонів.

Отримані результати демонструють, що на відстані від одного до двох метрів від робочого місця користувача ноутбуком

значення концентрації іонів відповідають фоновому рівню. Це свідчить про те, що зниження іонізації повітря пов'язане саме з присутністю людини за ноутбуком. Ймовірним механізмом є електризація поверхонь унаслідок трибоелектричних процесів. Також було проведено вимірювання силової характеристики E електростатичних полів, що формуються під час роботи протягом двогодинного періоду (таблиця 6).

Таблиця 6

Напруженість електростатичних полів користувача ноутбуком

Предмет	Відстань від предмету, м	E , кВ/м)	Знак заряду
Поверхня стола	1	4–8	негативний
Екран ноутбука	1	4–7	позитивний
Клавіатура ноутбука	1	9	позитивний
	2	5	
	3	3	
Спинка крісла користувача	1	3–6	негативний
Сидіння крісла користувача	1	6–10	негативний

Отже, зменшення концентрації іонів у повітрі зумовлене їх осіданням на заряджені поверхні в зоні робочого місця. Водночас повне знешкодження накопичених зарядів не відбувається, оскільки під час діяльності користувача ноутбуком вони постійно відновлюються.

Запобігти цьому явищу можна або регулярним вологим прибиранням полімерних поверхонь, або підтриманням вологості повітря на рівні, близькому до верхньої межі норм – приблизно 60 %. Якщо ці способи недоступні або не дають бажаного ефекту, доцільно застосувати штучні джерела іонізації.

Також було проведено вимірювання рівнів низькочастотного шуму та інфразвуку в приміщеннях, де використовуються ноутбуки. Дослідження виконувалися в умовах, коли фонові значення цих параметрів знаходилися майже на межі чутливості вимірювального обладнання.

Отримані результати свідчать, що як один працюючий ноутбук, так і група з шести ноутбуків створюють низькочастотний звук та інфразвук на рівні, який у десять разів менший за допустимі нормативи. Проте вимірювання у реальних умовах роботи показали, що через високу здатність низькочастотних хвиль проникати крізь конструкції будівель, ці фактори можуть істотно проявлятися під впливом зовнішніх джерел. Спектральний розподіл інфразвукових коливань подано в таблиці 7.

Таблиця 7

Значення рівнів інфразвукових хвиль в октавних смугах частот на робочих місцях користувачів ноутбуків

f , Гц	2	4	8	16
L_{lin} , дБ	82	78	64	68

При цьому $L_{lin} \approx 79$ дБ та $L_A \approx 55$ дБА. Значна різниця між цими параметрами дорівнює 24 дБ, що вказує на підвищений рівень інфразвукових коливань, які можуть негативно позначатися на стані користувачів ноутбуків, особливо тих, хто виконує відповідальні або високоточні завдання.

У зв'язку з цим під час введення обладнання в експлуатацію необхідно здійснювати контроль акустичного середовища, зокрема оцінювати вплив зовнішніх джерел низькочастотного шуму та інфразвуку. Проведене обстеження показало, що найпоширенішими джерелами цих факторів виступають системи механічної вентиляції та пульсації теплоносія в елементах опалювальної інфраструктури.

Додатково були виконані вимірювання електричних та магнітних полів екранів стаціонарних комп'ютерів із рідкокристалічними екранами. Згідно з вимогами [4], тестування проводили на відстані півметра від екранів стаціонарних комп'ютерів діагоналями 20, 23 і 26 дюймів.

Вимірювання проводилися безпосередньо під час реальної роботи

обладнання. При цьому всі джерела освітлення та інші потенційні генератори електромагнітних полів були відключені. Підсумкові дані представлено у таблиці 8.

Рівні електромагнітних полів залишаються в межах установлених нормативів. Невелике зростання характеристик електричної і магнітної складових електромагнітних полів пояснюється збільшенням потужності комп'ютерів із більшою діагоналлю екрана.

Таблиця 8

Значення напруженості електричного поля E та індукції магнітного поля B у зоні перед екраном

Розмір екрану	5–2000 Гц		2–400 кГц	
	E , В/м	B , нТл	E , В/м	B , нТл
20 дюймів	3–6	15–18	1,0–1,2	2–4
23 дюймів	10–12	36–48	1,3–1,5	6–9
26 дюймів	18–24	110–134	1,9–2,2	16–22
Допустимий рівень	25	250	2,5	25

Також були перевірені системні блоки стаціонарних комп'ютерів. Орієнтовні вимірювання показали, що більша частина випромінювань зосереджена у частотному діапазоні 5–2000 Гц. Це пов'язано із застосуванням імпульсних джерел живлення, які мають нелінійні вольт-амперні характеристики. Узагальнені дані подано в таблиці 9.

Таблиця 9

Значення напруженості електричного поля E та індукції магнітного поля B системних блоків стаціонарних комп'ютерів у діапазоні частот 5–2000 Гц

Потужність, Вт	E , В/м	B , нТл
450	1–3	28–35
650	4–7	58–84
850	9–11	114–186
1200	18–22	220–245

Аналіз даних таблиці 9 показує, що

рівні електромагнітних полів залишаються в межах допустимих норм, хоча для більш потужних пристроїв вони прямують до граничних нормативних значень. Варто також враховувати, що у робочих зонах та кабінетах часто присутні інші джерела електромагнітних впливів, зокрема джерела безперебійного живлення. Проведені орієнтовні вимірювання засвідчили, що такі пристрої створюють невеликі електричні поля, проте генерують помітно вищі рівні магнітних полів. Саме тому у подальшому було виконано вимірювання магнітних складових (таблиця 10).

Таблиця 10

Індукція магнітного поля джерел безперебійного живлення у діапазоні частот 5–2000 Гц

Потужність джерела безперебійного живлення, Вт	B , нТл	
	Передня частина	Бічна частина
600	110–140	120–150
1050	760–1100	700–1350
1600	1800–2200	1650–2250

Помітні відхилення у зафіксованих значеннях пояснюються різницею в конструктивному виконанні пристроїв та змінами струмових навантажень у момент проведення вимірювань. Як показано в таблиці 10, джерела безперебійного живлення формують значний внесок у загальну електромагнітну ситуацію в зоні знаходження користувача комп'ютером.

Аналіз просторового розподілу магнітного поля навколо таких пристроїв показав, що зміна індукція магнітного поля B описується залежністю

$$B = CL^{-2,7 \div 2,8}, \quad (2)$$

де C – стала,

L – відстань від джерела.

Це означає, що з віддаленням інтенсивність поля зменшується досить швидко, а характер ослаблення відповідає поведінці магнітного диполя, тобто напруженість спадає обернено пропорційно кубу відстані. З огляду на це, подібне обладнання бажано розміщувати на безпечній віддалі від користувача. Для пристрою потужністю 1600 W

рекомендована відстань становить приблизно 1,5 м, за якої рівень магнітного поля зменшується на порядок нижче від гранично допустимого. Принтери, копіювальні апарати та подібні пристрої – практично не впливають на електромагнітні параметри робочого простору, оскільки їхні поля перебувають на рівні фонових.

Окреме дослідження освітлювальних систем показало, що світлодіодні світильники створюють електромагнітні поля, які ледь перевищують поріг чутливості вимірювального приладу. Натомість люмінесцентні світильники формують помітно сильніші поля й можуть суттєво впливати на електромагнітну ситуацію у приміщенні. Вимірювання проводили на висоті півметра від підлоги (таблиця 11).

Таблиця 11

Значення напруженості електричного поля E та індукції магнітного поля B люмінесцентних світильників

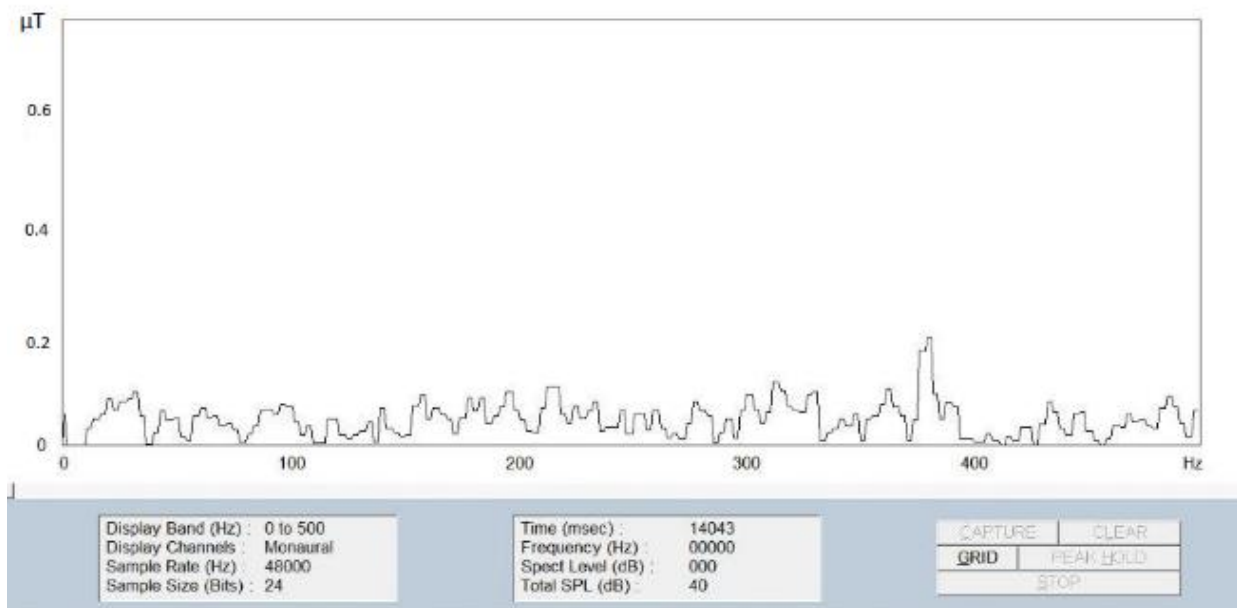
Частота	Напруженість електричного поля E , В/м	Індукція магнітного поля B , нТл
5–2000 Гц	19–22	2100–2300
2–400 кГц	10–13	1–3

У частотному діапазоні 5–2000 Гц

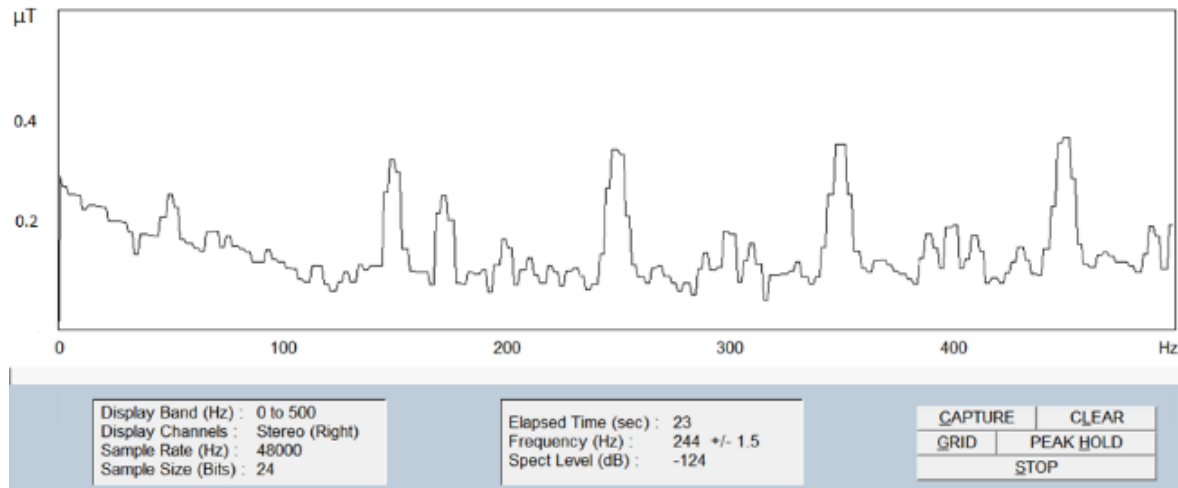
зафіксовані рівні електромагнітних полів, де магнітна складова суттєво перевищує гранично допустимі значення, а електрична – прямує до нормативних меж. Джерелом таких впливів є стельові світильники, розташовані на нижньому поверсі. Оскільки це має системний характер, такі освітлювальні установки потребують заміни на світлодіодні аналоги.

Під час вимірювань електричних і магнітних полів переносних комп'ютерів з екранами 15 і 17 дюймів у частотному діапазоні 2–400 кГц встановлено, що їхні значення знаходяться на рівні фонових. Тестування проводили при роботі від акумуляторів, тобто без навантаження на електромережу. Разом із тим помічено, що зі зростанням навантаження на електричну мережу від допоміжного обладнання відбувається підвищення індукції магнітного поля у низькочастотній області – до 220–230 нТл.

Додатково було вивчено залежність амплітуди індукції від частоти магнітних полів блоків живлення ноутбуків. Виявлено, що навіть при однаковій вихідній потужності різні моделі можуть генерувати досить різні магнітні поля. На рисунку 2, а наведено спектральний склад магнітних полів одного блоку живлення ноутбуків потужністю 330 W, на рисунку 2, б – двох.



а



б

Рис. 2. Залежність амплітуди індукції від частоти магнітних полів двох блоків живлення ноутбуків

Як видно з рисунка 2, перше джерело (рисунок 2, а) формує амплітуди магнітного поля на кількох гармоніках промислової частоти, які перевищують нормативні значення. Повторні випробування не дали можливості встановити чітку закономірність у формуванні магнітних полів різними моделями блоків живлення. У зв'язку з цим під час роботи від силової мережі такі пристрої не слід розмішувати в безпосередній близькості до користувача. Ноутбуки, що працюють автономно (тобто без підключення до зовнішнього джерела живлення), не створюють помітного впливу на електромагнітну ситуацію, який потребував би захисних заходів.

Але слід враховувати, що джерелом наднормативних магнітних полів у приміщеннях з великою кількістю комп'ютерів і техніки можуть бути силові електромережі.

Обговорення результатів

Проведені вимірювання дали змогу виявити низку питань, що потребують детального аналізу й додаткового пояснення. Деіонізація повітря, у приміщеннях з великою кількістю комп'ютерів і оргтехніки, зафіксована для обох полярностей зарядів, обумовлена випадковістю знаків поверхневих зарядів на матеріалах, що взаємодіють під час роботи. Для мінімізації цього ефекту рекомендовано використовувати біполярні ультразвукові іонізатори та очищувачі повітря [11]. Вони дозволяють компенсувати дефіцит іонів із

урахуванням фактичної полярності зарядів та фонових атмосферних умов. Високі рівні електростатичних полів, характерні для робочих місць користувачів ноутбуків, спричиняють не лише деіонізацію повітря, але й рух дрібнодисперсного пилу у напрямку оператора, що може потрапляти в очі.

Суттєві труднощі виникають під час спроб зменшити рівні низькочастотного звуку та інфразвуку. Це пояснюється їх слабким просторовим згасанням, через що на акустичне середовище впливають навіть віддалені джерела. Наявні шумоізолювальні панелі орієнтовані переважно на одну резонансну частоту, тому доцільним є створення конструкцій з кількома мембранами, налаштованими на найзначущі частоти низькочастотних коливань. Таке налаштування слід здійснювати на основі натурних спектральних вимірювань у октавних або третинооктавних смугах.

Було встановлено, що магнітні поля у діапазоні 5–2000 Гц у робочих приміщеннях та безпосередньо на робочих місцях або наближаються до нормативних меж, або навіть перевищують їх.

Проведене дослідження має певні обмеження. З огляду на взаємозв'язок між електромагнітними полями, концентрацією іонів та акустичними параметрами середовища доцільно розробити узагальнені моделі поширення відповідних фізичних чинників у приміщеннях, де експлуатується комп'ютерна техніка. За наявності

експериментальних даних такі моделі можна реалізувати із використанням концептуальних підходів і програмних засобів, поданих у [12, 13].

Ще одним недоліком роботи є складність повного врахування та відокремлення зовнішніх впливів, які можуть змінювати параметри фізичних чинників на робочих місцях. Такі зміни пов'язані, наприклад, з увімкненням зовнішнього обладнання або зміною іонного складу атмосферного повітря через техногенні процеси.

Висновок

У результаті проведених досліджень встановлено, що стаціонарні системні блоки персональних комп'ютерів у режимі тривалої експлуатації спричиняють зниження концентрації іонів у повітрі нормативного об'єму на один пристрій у середньому на 100 см^{-3} позитивних та 200 см^{-3} негативних іонів, що свідчить про виражений деіонізаційний ефект. Робота лазерних принтерів супроводжується утворенням $750\text{--}1500\text{ см}^{-3}$ пар іонів, тоді як копіювальні апарати генерують $440\text{--}2800\text{ см}^{-3}$ пар, що зумовлено особливостями їхніх технологічних процесів. У процесі експлуатації переносних персональних комп'ютерів на поверхнях корпусу та інших полімерних елементах накопичуються електростатичні заряди трибоелектричного походження. Концентрація іонів відновлюється до фонових рівнів на відстані метр–півтора від робочої зони. Для нормалізації іонного складу повітря доцільним є або підвищення відносної вологості до верхніх меж регламенту, або використання засобів штучної іонізації.

Акустичний аналіз роботи вентиляторів системних блоків виявив, що рівні звукового тиску у діапазоні 28–54 дБА визначаються конструктивними параметрами та швидкістю обертання вентиляційних модулів. Отримані спектральні залежності підтверджують домінування низькочастотних складових та інфразвукових коливань у формуванні акустичного навантаження. Значення різниці за лінійною шкалою і шкалою «А» $L_{\text{lin}} - L_A$, які досягають 24 дБ, засвідчують істотний внесок інфразвуку, що може потенційно порушувати комфортні умови праці оператора комп'ютерної техніки. Для зниження рівнів низькочастотного звуку та

інфразвуку запропоновано застосовувати акустичні панелі мембранного типу. Розрахунок їх резонансних характеристик здійснюється на основі експериментально отриманих спектрів звуку в октавних чи третиннооктавних смугах частот, що забезпечує можливість цілеспрямованої адаптації конструкцій під конкретні акустичні умови.

Дослідження електромагнітних характеристик сучасних моніторів демонструють, що їхні електричні та магнітні поля у встановлених частотних інтервалах відповідають чинним нормативним вимогам. Водночас системні блоки високопродуктивних персональних комп'ютерів формують електричні поля інтенсивністю 17–22 В/м та магнітні поля 220–250 нТл, що наближається до гранично допустимих рівнів. Особливо значні відхилення зафіксовано для джерел безперебійного живлення, магнітні поля яких можуть досягати 2,25 мкТл, істотно перевищуючи нормовані величини, що обумовлює необхідність їх розміщення на відстані не менше метра–півтора від робочого місця. Системи люмінесцентного освітлення генерують низькочастотні електричні та магнітні поля інтенсивністю до 22 В/м та 2,3 мкТл відповідно, що перевищує нормативні значення. Це визначає доцільність переходу на світлодіодні світильники, які істотно знижують рівні електромагнітного впливу.

Список літератури

1. Council Directive 90/270/EEC of 29 May 1990 on the minimum safety and health requirements for work with display screen equipment (fifth individual Directive within the meaning of Article 16 (1) of Directive 89/391/EEC). *Official Journal of the European Union*. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/GA/ALL/?uri=CELEX:31990L0270>
2. ISO 9241-3:1992. Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs) — Part 6: Environmental requirements. URL: <https://www.iso.org/obp/ui/fr/#iso:std:iso:9241:-3:ed-1:v1:en>
3. MPR II. The Swedish government standard for maximum video terminal radiation. URL: <https://monographs.iarc.who.int/wp-content/uploads/2018/06/mono102.pdf>
4. Standart for TCO'03 Display requirement. The Swedish Confederation of

Professional Employees. Stockholm, 2003. 21 p. URL:

<http://poradme.se/images/d/d7/Tco03.pdf>

5. Sydorov O.V. Technique of small air ions concentration measurements on workplace of computer operator. *Engineering industry and life safety*. 2014. № 1. PP. 36–41.

6. Rusakova T.I. Method for predicting parameters of the aeroionic mode in open terrain ground areas. *Science and Transport Progress*. 2019, Vol (3(81)). PP. 16–26. <https://doi.org/10.15802/stp2019/170273>

7. Глива В.А. Загальні принципи моніторингу та нормалізації фізичних параметрів виробничого середовища під час експлуатації автоматизованих систем. Проблеми охорони праці в Україні. 2010, Вип.18. С. 112–122.

8. Brodic Darko. Measurement of the extremely low frequency magnetic field in the laptop neighborhood. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (76), 2015, PP. 39–45. DOI: [10.17533/udea.redin.n76a05](https://doi.org/10.17533/udea.redin.n76a05)

9. Akinpelu Akinwumi. Radiation from different parts of laptops. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development*. Vol. 8, Issue 5. 2018. PP. 153–160. URL: https://www.researchgate.net/publication/327582431_Radiation_from_different_parts_of_laptops

10. Abiola Olawale Ilori, Omoniyi Ajoke Gbadamosi, Gilbert Akin Ibitola, Olanrewaju Ajanaku. Risk Assessments of Magnetic Field Radiation from AC and Battery Powered Laptop Computers. *American Journal of Science and Technology*. Vol. 6, No. 2, 2019. PP. 14–19. URL: https://www.researchgate.net/publication/352771361_Risk_Assessments_of_Magnetic_Field_Radiation_from_AC_and_Battery_Powered_Laptop_Computers

11. Bolibrukh B., Glyva V., Kasatkina N., Levchenko L., Tykhenko O., Panova O., Bogatov O., Petrunok T., Aznaurian I., Zozulya S. Monitoring and management ion concentrations in the air of industrial and public premises. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2022, vol. 1, №. 10(115). PP. 24–30. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.253110>

12. Malyeyeva O., Kosenko V., Davydovskiy Y., Boiev, D. (2020) “Factor synergy analysis and merger strategy models in investigation of telecommunication operators’

PERFORMANCE”, *Advanced Information Systems*. 2020, vol. 4(2), PP. 130–136. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.2.19>

13. Kravchenko V., Knyazev V., Serkov A., Breslavets V., Yakovenko, I. (2019). Electromagnetic compatibility of semiconductor structures with a two-dimensional electron layer. *Advanced Information Systems*. 2019. Vol. 3(4). PP. 132–136. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2019.4.20>

References

1. Council Directive 90/270/EEC of 29 May 1990 on the minimum safety and health requirements for work with display screen equipment (fifth individual Directive within the meaning of Article 16 (1) of Directive 89/391/EEC). *Official Journal of the European Union*. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/GA/ALL/?uri=CELEX:31990L0270>

2. ISO 9241-3:1992. Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs) — Part 6: Environmental requirements. URL: <https://www.iso.org/obp/ui/fr/#iso:std:iso:9241:-3:ed-1:v1:en>

3. MPR II. The Swedish government standard for maximum video terminal radiation. URL: <https://monographs.iarc.who.int/wp-content/uploads/2018/06/mono102.pdf>

4. Standart for TCO'03 Display requirement. The Swedish Confederation of Professional Employees. Stockholm, 2003. 21 p. URL:

<http://poradme.se/images/d/d7/Tco03.pdf>

5. Sydorov O.V. Technique of small air ions concentration measurements on workplace of computer operator. *Engineering industry and life safety*. 2014. № 1. PP. 36–41.

6. Rusakova T.I. Method for predicting parameters of the aeroionic mode in open terrain ground areas. *Science and Transport Progress*. 2019, Vol (3(81)). PP. 16–26. <https://doi.org/10.15802/stp2019/170273>

7. Hlyva, V. A. (2010). General principles of monitoring and normalization of physical parameters of the production environment during the operation of automated systems. *Occupational Safety Problems in Ukraine*, (18), 112–122.

8. Brodic Darko. Measurement of the extremely low frequency magnetic field in the laptop neighborhood. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (76),

2015, PP. 39–45. DOI: [10.17533/udea.redin.n76a05](https://doi.org/10.17533/udea.redin.n76a05)

9. Akinpelu Akinwumi. Radiation from different parts of laptops. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development*. Vol. 8, Issue 5. 2018. PP. 153–160. URL: https://www.researchgate.net/publication/327582431_Radiation_from_different_parts_of_laptops

10. Abiola Olawale Ilori, Omoniyi Ajoke Gbadamosi, Gilbert Akin Ibitola, Olanrewaju Ajanaku. Risk Assessments of Magnetic Field Radiation from AC and Battery Powered Laptop Computers. *American Journal of Science and Technology*. Vol. 6, No. 2, 2019. PP. 14–19. URL: https://www.researchgate.net/publication/352771361_Risk_Assessments_of_Magnetic_Field_Radiation_from_AC_and_Battery_Powered_Laptop_Computers

11. Bolibrukh B., Glyva V., Kasatkina N., Levchenko L., Tykhenko O., Panova O., Bogatov O., Petrunok T., Aznaurian I., Zozulya

S. Monitoring and management ion concentrations in the air of industrial and public premises. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2022, vol. 1, №. 10(115). PP. 24–30. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.253110>

12. Malyeyeva O., Kosenko V., Davydovskiy Y., Boiev, D. (2020) “Factor synergy analysis and merger strategy models in investigation of telecommunication operators’ PERFORMANCE”, *Advanced Information Systems*. 2020, vol. 4(2), PP. 130–136. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.2.19>

13. Kravchenko V., Knyazev V., Serkov A., Breslavets V., Yakovenko, I. (2019). Electromagnetic compatibility of semiconductor structures with a two-dimensional electron layer. *Advanced Information Systems*. 2019. Vol. 3(4). PP. 132–136. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2019.4.20>

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

ORCID ID: <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).

ORCID ID: <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).

ORCID ID: <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).

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3261-3296>

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

Григорчук Олександр Михайлович – кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри фізики, Київський національний університет будівництва і архітектури, (пр. Повітряних сил, 31, м. Київ, Україна, 03037).

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6139-1231>

E-mail: hryhorchuk.om@knuba.edu.ua

ANALYSIS AND NORMALIZATION OF PARAMETERS OF AIR IONIZATION, LOW-FREQUENCY SOUND AND ELECTROMAGNETIC FIELDS IN ROOMS WITH A LARGE NUMBER OF COMPUTERS AND EQUIPMENT

Purpose. To carry out a comprehensive study of the dynamics and normalization of quantitative characteristics of harmful physical factors that are not perceived directly by the senses of users, in rooms and workplaces with a large number of computers and office equipment. This will allow developing measures to ensure regulatory working conditions for users of personal computer equipment.

Methods. Measurements of the concentration of positive and negative air ions, levels of low-frequency sound and infrasound, as well as the intensity of the electric and magnetic induction components of electromagnetic fields in rooms with a large number of computer equipment. Determination of the dynamics of the

values of physical factors of the environment in space and time, analysis of the negative impact of computer equipment and auxiliary devices to determine the conditions and means of their normalization.

Results. An assessment of ion generation by various models of copying equipment and modernized laser printers was carried out. It has been established that the concentration of ions formed can reach 1500 cm^{-3} for laser printers and 2800 cm^{-3} for inkjet printers. It was determined that at a distance of 1.0–1.5 m the concentration of air ions returns to the background level. It is shown that the operation of one system unit is the main above-normal factor during the operation of portable computers, since its electric fields with a strength of up to 9 kV/m lead to a decrease in the concentration of light air ions in the user's area (positive ions by approximately 100 cm^{-3} , and negative ions by 200 cm^{-3}). It was found that the difference between the sound levels registered on the “Lin” and “A” scales is up to 24 dB. This indicates a significant impact of infrasound on the body of users. It was found that modern monitors do not create electromagnetic fields, the intensity of which would exceed hygienically permissible limits. At the same time, system units generate electric fields of 18–22 V/m and magnetic fields of 220–245 nT, which border on the maximum permissible levels. It was found that uninterruptible power supplies and fluorescent lamps create magnetic fields of increased intensity - up to 2250 nT and 2300 nT, respectively. The spectral composition and amplitude of magnetic fields of external power supplies of laptops were studied.

Novelty. The features of the dynamics of the aeroionic composition of air in rooms with a large number of computer equipment, the amplitude-frequency characteristics of low-frequency sound and infrasound, and the features of the amplitude-frequency characteristics of electromagnetic fields were determined, which allowed us to provide recommendations for their normalization and maintenance within the regulatory parameters.

Practical significance. To normalize the concentration of air ions in workplaces, it is necessary to introduce artificial air ionization systems. To reduce the significant impact of infrasound and low-frequency sound on the user's body, it is recommended to use membrane sound-absorbing screens tuned to their resonant frequencies. justifies the need to introduce systems for reducing the intensity of electrostatic fields in workplaces. To protect against the effects of electromagnetic fields of the wide frequency range, the use of developed and patented materials is recommended.

Keywords: computer, laptop, air ionization, infrasound, low-frequency sound, electromagnetic field

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

ORCID ID: <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 Construction and Architecture, Air Force Ave., 31, Kyiv, Ukraine, 03037.

ORCID ID: <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 Construction and Architecture, 31 Povitryanykh Sil Ave., Kyiv, Ukraine, 03037.

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3669-9744>

E-mail: biruk.iai@knuba.edu.ua

Tetiana Petrunok, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Physics, Kyiv National University of Construction and Architecture, Air Force, 31, Kyiv, Ukraine, 03037.

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3261-3296>

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

Oleksandr Hryhorchuk, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Physics, Kyiv National University of Construction and Architecture, Air Force Ave., 31, Kyiv, Ukraine, 03037.

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6139-1231>

E-mail: hryhorchuk.om@knuba.edu.ua

В. Ю. Дендаренко
Д.О. Кришталь
В.П. Мельник
О.М. Нуянзін
М.Ю. Удовенко
С.Ю. Цвіркун

РОЗРОБКА ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ПРИНЦИПУ РОБОТИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ РОЗРАХУНКУ ВИТРАТ НА ГАСІННЯ ПОЖЕЖІ

Мета. Метою дослідження було обґрунтування принципу роботи автоматизованої системи, створення її логічної структури, визначення вхідних та вихідних параметрів, а також розробка алгоритму розрахунку витрат. У роботі проаналізовано чинну нормативну базу, виявлено недоліки ручного методу розрахунків, включаючи часові затримки та ризик помилок, і доведено доцільність автоматизації. Запропонована система включає модулі для обліку подій, техніки, особового складу, витратних елементів, а також дозволяє формувати електронну картку пожежі та автоматично генерувати фінансову звітність.

Методика. У дослідженні застосовано міждисциплінарний підхід: методи концептуального моделювання, алгоритмізації, аналізу ефективності та інформаційної інтеграції (через API з системами типу СУЗЦЗ). Проведено порівняльну оцінку ефективності ручного та автоматизованого способів розрахунку за критеріями точності, швидкості, інтеграційної сумісності, прозорості та витрат ресурсів.

Результати. У статті розглянуто концепцію та принципи функціонування автоматизованої системи розрахунку витрат на гасіння пожеж у підрозділах Державної служби України з надзвичайних ситуацій. Розробка системи базується на положеннях Методики розрахунку витрат на гасіння пожежі, затвердженої наказом МВС України № 55 від 31.01.2024, і є частиною більш широкого проекту, орієнтованого на цифрову трансформацію процесів управління пожежною безпекою.

Наукова новизна. Вперше обґрунтовано принцип функціонування автоматизованої системи розрахунку витрат на гасіння пожеж, розробленої відповідно до Методики, затвердженої наказом МВС України № 55 від 31.01.2024. Сформовано структуру системи, яка передбачає облік подій, техніки, особового складу, логістичних параметрів та інтеграцію з нормативно визначеними витратними статтями. Набуло подальшого розвитку формування єдиного цифрового середовища для ефективного управління пожежною безпекою.

Практична значимість. Результати дослідження засвідчують високий потенціал впровадження розробленої системи в практику органів цивільного захисту. Вона сприяє підвищенню ефективності управління, зниженню навантаження на персонал, дотриманню нормативів та формуванню єдиного інформаційного простору в галузі цивільної безпеки.

Ключові слова: пожежа, гасіння, наслідки, витрати, цифровізація, розрахунок, автоматизована система.

Вступ.

У статті розглянуто основні аспекти створення та роботи автоматизованої системи розрахунку витрат на гасіння пожеж у підрозділах ДСНС України. У сучасних умовах, коли кількість надзвичайних ситуацій зростає, а бюджетні ресурси обмежені, виникає об'єктивна необхідність у створенні цифрового інструменту, який дозволить здійснювати точні, стандартизовані та прозорі розрахунки відповідно до вимог чинної нормативної бази.

Наявні практики «ручного» ведення обліку та розрахунків витрат на гасіння пожеж зумовлюють високу ймовірність

помилки, ускладнюють звітність, перевірку витрат, створюють ризики дублювання або втрати даних. Актуальність розробки автоматизованої системи підтверджується не лише положеннями Методики розрахунку витрат (наказ МВС № 55 від 31.01.2024) [1], а й загальнодержавною стратегією цифрової трансформації у сфері безпеки та надзвичайного реагування.

У межах дослідження передбачається проектування та обґрунтування принципів функціонування системи, яка забезпечуватиме точність розрахунків, нормативну відповідність, гнучкість для адаптації до змін законодавства та інтеграцію з іншими інформаційними системами,

зокрема СУЗЦЗ. Запропонований підхід передбачає реалізацію архітектури на базі API для взаємодії з зовнішніми сервісами, впровадження механізмів цифрового документообігу, аналітичних панелей, автоматизованого формування звітності.

Особливу увагу приділено модульності системи, що дозволяє реалізувати облік техніки, особового складу, пожеж, витратних статей, а також забезпечити прозорість та контроль витрат на всіх рівнях управління. Результатом є зниження впливу людського фактору, підвищення швидкості прийняття управлінських рішень та формування єдиного цифрового середовища для ефективного управління пожежною безпекою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

У 2020 році в Україні було створено Посібник з обліку пожеж та їх наслідків [2]. Його рекомендовано для використання структурними підрозділами територіальних органів Державної служби України з надзвичайних ситуацій. На практиці посібник сприяє вирішенню проблеми щодо однозначності тлумачення керівних документів, що регламентують діяльність, пов'язану зі статистичним обліком пожеж та їх наслідків.

У 2024 році була запропонована методика у документі [1]. Її можливо цифровізувати, що у даній роботі і підтверджено.

У роботі [3] досліджено динаміку економічних втрат України від пожеж. Визначений вплив пожеж на економічну та екологічну ситуації в країні. Встановлено залежність зростання економічних втрат від кількості пожеж в Україні. Здійснено прогнозування можливих економічних втрат від пожеж в Україні у наступний період. Визначено основні причини пожеж в Україні. Проте, не визначено чіткого механізму оцінювання наслідків.

У роботі [4] проаналізовано результати досліджень і нормативно-правової бази стосовно оцінювання збитків від пожеж. Підкреслено, що без введення в дію єдиного підходу до їх визначення неможливо позбутися суб'єктивних помилок під час розрахунків, мінімізувати некоректність аналізу, порівняння й узагальнення отриманих результатів. Об'єктивна необхідність оцінювання збитків від пожеж,

заподіяних веденням бойових дій, спричинених російською військовою агресією, обумовлює вжиття відповідних коригуючих заходів. Проте результати не врахували сучасні умови та елемент цифровізації.

У роботі [5] запропоновано впровадження універсального методу визначення заподіяної шкоди нерухомому та рухомому майну України внаслідок військової агресії РФ з урахуванням досвіду європейських країн. Проаналізовано кілька підходів до оцінки збитків від війни та запропоновано використовувати витратний підхід з урахуванням залишкової вартості заміщення. Запропоновані етапи оцінки пошкодженого та зруйнованого майна. Однак, у роботі відсутні пропозиції щодо автоматизації даного процесу.

Відповідно до роботи [6] встановлено, що за період 2019–2030 рр. в Україні загальна прогнозна площа лісових земель, пройдена пожежами, становитиме 49,991 тис. га, загальний обсяг згорілого та пошкодженого лісу на пні – 4,086 млн м³, збитки, заподіяні лісовим пожежам, – 906,211 млн грн або 1,817 млрд грн, враховуючи індекс споживчих цін на 2018. Проте даний аналіз не враховує умови воєнного стану.

Аналогічно, робота [7] надає глибоке розуміння масштабів та наслідків пожеж в Україні, а також методів оцінки завданих збитків. Вони можуть бути корисними для подальших досліджень та розробки ефективних стратегій управління ризиками.

Відповідно до роботи [8] проаналізовано чинний механізми комплексного впливу факторів на об'єкт дослідження. Розглянуто методи побудови багатопараметричних моделей, їх синтезу, формування вигляду опорної моделі та способи підвищення їхньої якості, використовуючи масиви даних з низьким рівнем інформаційної достатності. Це дозволяє знизити витрати ресурсів на проведення моніторингу станів пожежної безпеки об'єктів та виявити залежності факторів, що впливають на ці стани.

У роботі [9] описано питання системи інтеграції даних з різних джерел. Підхід орієнтований на побудову архітектури сервісної інтеграції, де запити формуються як звернення до сутностей через визначені сервіси. Це забезпечує гнучкість доступу до інформації, що зберігається у різних

форматах та джерелах. Такий підхід є актуальним у розробці модулів цифрової взаємодії в інформаційних системах надзвичайного реагування.

Окрему увагу заслуговує робота [10], яка стала підґрунтям для даного дослідження. У ній було обґрунтовано можливість автоматизації процесу

розрахунку витрат на гасіння пожежі, розглянуто основні етапи та структура системи, а також визначено нормативну базу та алгоритм дій. Було запропоновано принципову схему бази даних автоматизована система розрахунку витрат на гасіння пожежі, що представлена на рис. 1.

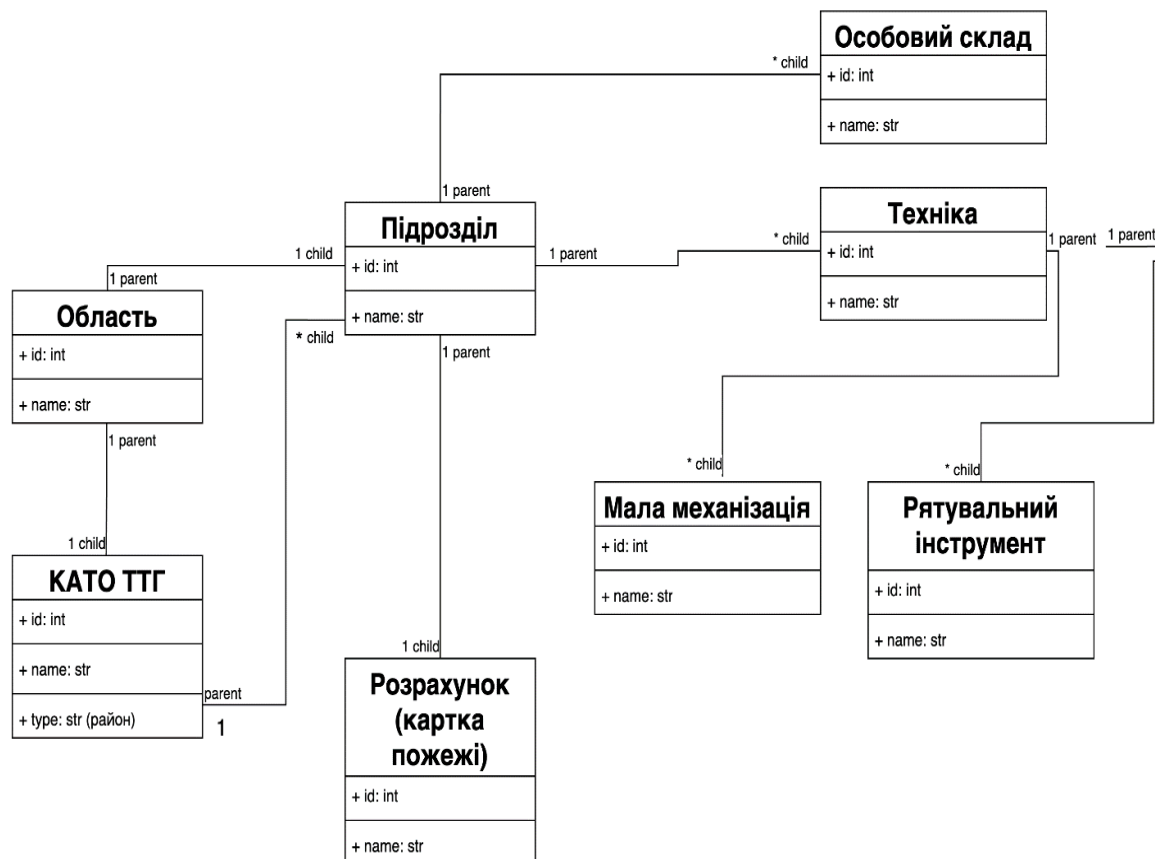


Рис. 1. Схема приміщення споруди ЦЗ.

Проте попередня реалізація не передбачала глибокої інтеграції з зовнішніми інформаційними системами, а також не реалізовувала повноцінну архітектуру взаємодії через API, що вказує на актуальність подальшого вдосконалення.

Аналіз наукових праць та нормативних джерел свідчить про актуальність проблеми оцінювання витрат на гасіння пожеж в умовах зростаючої кількості надзвичайних ситуацій, ускладнених впливом воєнного стану. Наявні дослідження охоплюють питання статистичного обліку пожеж, оцінювання економічних збитків, методів

прогнозування, а також цифровізації окремих процесів. Разом з тим, більшість робіт зосереджуються на теоретичних аспектах, залишаючи поза увагою питання автоматизації та інтеграції відповідних рішень у наявну інфраструктуру цивільного захисту.

Мета дослідження

Дана стаття є одним з етапів дослідницької роботи [11] практичним результатом якої є створення програмного продукту для автоматизації розрахунків, на основі Методики розрахунку витрат на гасіння пожежі, затвердженої наказом МВС

№ 55 від 31.01.2024 (далі – методика) [1]. На даному етапі необхідно було обґрунтувати принцип роботи автоматизованої системи розрахунку витрат на гасіння пожежі та продемонструвати її основні модулі, описати алгоритм роботи.

Для досягнення мети, поставлено та вирішено наступні завдання:

Опис ключових елементів запропонованої автоматизованої системи розрахунку витрат на гасіння пожежі.

Визначення мінімально необхідних даних для обрахунку витрат та створення форми вихідних даних: картки пожежі для розрахунку матеріальних витрат.

Опис алгоритм розрахунків витрат, що інтегрований у програмне забезпечення, із забезпеченням точності, швидкості обробки даних та можливістю подальшого масштабування системи.

Проаналізувати якість роботи автоматизованої системи у порівнянні з існуючим підходом.

Протестувати можливості системи на основі даних з відкритих джерел.

Методи дослідження.

У ході проведення дослідження було застосовано комплекс методів, що охоплюють як сферу пожежної безпеки, так і інформаційних технологій, забезпечуючи міждисциплінарний підхід до вирішення поставлених завдань.

Було здійснено аналіз Методики розрахунку витрат на гасіння пожежі, затвердженої наказом МВС № 55 від 31.01.2024, з метою формалізації алгоритму розрахунків у цифровому форматі. На основі цього аналізу визначено ключові параметри, які впливають на точність і повноту розрахунків, а також класифікацію витратних компонентів.

Виявлено низку недоліків традиційного (ручного) способу обліку, включаючи часові затримки, складність перевірки даних та високий ризик помилок, зумовлених людським фактором. Це стало підставою для розробки цифрового рішення.

З метою цифровізації процесів було використано методи концептуального моделювання для побудови логічної структури бази даних майбутньої системи. Водночас розроблено принциповий алгоритм розрахунку витрат, який враховує тип події, витрати на техніку, особовий склад, логістичне забезпечення тощо.

При розробці архітектури системи враховано вимоги до масштабованості, швидкості обробки інформації, а також гнучкості для подальшої інтеграції з іншими цифровими рішеннями. Було проведено оцінку можливостей інтеграції системи з наявними інформаційними платформами ДСНС (зокрема СУЗЦЗ) через API, із забезпеченням захищеного доступу до сервісів.

Поеднання зазначених методів дозволило здійснити комплексний аналіз проблеми та створити надійну базу для реалізації автоматизованої системи розрахунку витрат на гасіння пожеж.

Виклад основного матеріалу.

Одним із ключових елементів запропонованої автоматизованої системи є сторінка вводу даних. Це той інтерфейс, що буде доступний користувачу. Принципи його створення базувались на мінімізації введення інформації (було обрано лише необхідну) та простоті розуміння користувачем.

На рис. 2 показано яким чином у базу даних внесено дані щодо протипожежних та інших автомобілів, які приписано до державної пожежно-рятувальної частини. Лише адміністратор буде мати доступ та можливість зміни даної інформації

Як видно з рисунку у 6 ДПРЧ 4 ДПРЗ ГУ ДСНС України у Черкаській області наявні 10 пожежних авто. Всі марки та номерні знаки автомобілів уже внесено в базу даних. Це дозволить вести постійний моніторинг стану техніки, інтенсивності її використання, амортизації та приймати рішення щодо необхідності позапланових технічних оглядів.

Автономна Республіка Крим	район	ДПРЗ, АРЗ СП	ДПРЧ, ДПРП	6 ДПРЧ
ГУ ДСНС України у Вінницькій області	Черкаське районне управління	1 ДПРЗ	18 ДПРЧ	
ГУ ДСНС України у Волинській області	Черкаське районне управління	1 ДПРЗ	19 ДПРЧ	
ГУ ДСНС України у Дніпропетровській області	Черкаське районне управління	2 ДПРЗ	1 ДПРЧ	
ГУ ДСНС України у Донецькій області	Черкаське районне управління	2 ДПРЗ	2 ДПРЧ	
ГУ ДСНС України у Житомирській області	Черкаське районне управління	2 ДПРЗ	3 ДПРЧ	
ГУ ДСНС України у Закарпатській області	Черкаське районне управління	2 ДПРЗ	23 ДПРЧ	
ГУ ДСНС України у Запорізькій області	Черкаське районне управління	3 ДПРЗ	4 ДПРЧ	
ГУ ДСНС України в Івано-Франківській області	Черкаське районне управління	3 ДПРЗ	9 ДПРЧ	
ГУ ДСНС України у Київській області	Черкаське районне управління	3 ДПРЗ	10 ДПРЧ	
ГУ ДСНС України у Кіровоградській області	Черкаське районне управління	3 ДПРЗ	11 ДПРЧ	
ГУ ДСНС України у Луганській області	Черкаське районне управління	3 ДПРЗ	12 ДПРЧ	
ГУ ДСНС України у Львівській області	Черкаське районне управління	3 ДПРЗ	16 ДПРЧ	
ГУ ДСНС України у Миколаївській області	Черкаське районне управління	АРЗСП		
ГУ ДСНС України у Одеській області	Звенигородське районне управління	4 ДПРЗ	2 ДПРП	
ГУ ДСНС України у Полтавській області	Звенигородське районне управління	4 ДПРЗ	3 ДПРП	
ГУ ДСНС України у Рівненській області	Звенигородське районне управління	4 ДПРЗ	6 ДПРЧ	
ГУ ДСНС України у Сумській області	Звенигородське районне управління	4 ДПРЗ	7 ДПРЧ	
ГУ ДСНС України у Тернопільській області	Звенигородське районне управління	4 ДПРЗ	13 ДПРЧ	
ГУ ДСНС України у Харківській області	Звенигородське районне управління	4 ДПРЗ	17 ДПРЧ	
ГУ ДСНС України у Херсонській області	Уманське районне управління	5 ДПРЗ	15 ДПРЧ	
ГУ ДСНС України у Хмельницькій області	Уманське районне управління	5 ДПРЗ	20 ДПРЧ	
ГУ ДСНС України у Черкаській області	Уманське районне управління	5 ДПРЗ	21 ДПРЧ	
ГУ ДСНС України у Чернівецькій області	Уманське районне управління	5 ДПРЗ	22 ДПРЧ	
ГУ ДСНС України у Чернігівській області	Золотоніське районне управління	6 ДПРЗ	5 ДПРЧ	
ГУ ДСНС України у м. Києві	Золотоніське районне управління	6 ДПРЗ	8 ДПРЧ	
м. Севастополь	Золотоніське районне управління	6 ДПРЗ	6 ДПРП	

Рис. 2. Відображення сторінки автотранспортної техніки, що наявна у підрозділі.

Далі необхідно внести особовий склад, що було задіяно під час ліквідації надзвичайної ситуації. Приклад внесення даних щодо особового складу підрозділу

відтворено на рис. 3 (усі вказані особи, імена яких вказано на рисунку, не є справжніми, доступ до особистих даних матимуть лише адміністратори та оператори).

6 ДПРЧ, 4 ДПРЗ, Звенигородське районне управління

Пожежні автомобілі Вантажні автомобілі Спеціальні автомобілі Інші транспортні засоби Майно (рахунки) Особовий склад Пожежі

Додати співробітника

Повне ім'я	Посада	Заробітна плата - грн за місяць	Нарахування - відсотки	Нарахування - грн за місяць	Статус		
Іваненко Олександр Михайлович	Командир відділення	24696,81	22,0	4604,49	атестований склад	📄	🗑️
Дорошенко Володимир Васильович	водій	22822,38	22,0	4255,02	атестований склад	📄	🗑️
Шевченко Максим Миколайович	пожежний-рятувальник	21121,41	22,0	3937,89	атестований склад	📄	🗑️
Франко Микола Васильович	пожежний-рятувальник	22158,63	22,0	4131,27	атестований склад	📄	🗑️

Рис. 3. Приклад вибору особового складу, задіяного під час ліквідації пожежі.

Якщо буде існувати необхідність переглянути картки обліку пожежі, то автоматизована система буде мати таку функцію (обмежену рівнем доступу).

На рис. 4 представлено інтерфейс сторінки вибору картки пожежогоасіння. Всі дані будуть збережені на сервері для можливості опрацювання у майбутньому.

6 ДПРЧ, 4 ДПРЗ, Звенигородське районне управління

[Пожешні автомобілі](#)
[Вантажні автомобілі](#)
[Спеціальні автомобілі](#)
[Інші транспортні засоби](#)
[Майно \(рахунки\)](#)
[Особовий склад](#)
[Пожеші](#)

[Створити картку обліку пожежі](#)

2025-06-12	м. Черкаси, вул. Хоменка, 15	DAIMLER-BENZ 1019 AF, АЦ-40(131)137А,	
2025-06-12	м. Черкаси, вул. Хоменка, 15	DAIMLER-BENZ 1019 AF, АЦ-40(131)137А,	
2025-06-17	м. Черкаси, вул. Загородецька 8		
2025-06-17	м. Черкаси, вул. Загородецька 8		
2025-05-28	с. Моринці, вул. Калюжна, 7	DAIMLER-BENZ 1019 AF, АЦ-40(131)137А, АЦ-40(432921)635.02,	
2025-05-28	с. Моринці, вул. Калюжна, 7	DAIMLER-BENZ 1019 AF, АЦ-40(131)137А, АЦ-40(432921)635.02,	
2025-05-16	с. Моринці, вул. Калюжна, 17	DAIMLER-BENZ 1019 AF,	
2025-05-16	с. Моринці, вул. Калюжна, 17	DAIMLER-BENZ 1019 AF,	
2025-06-10	с. Кацапетівка	АЦ-40(131)137А,	
2025-06-10	с. Кацапетівка	АЦ-40(131)137А,	
2025-06-10	с. Кацапетівка, пер. Тропічний, 10	АЦ-40(131)137А,	
2025-06-19	м. Черкаси, бульвар Далекобійників, 16	АЦ-4-60(5309)505М,	Іваненко Олександр Михайлович, Франко Микола Васильович,

Рис. 4. Інтерфейс сторінки вибору картки пожежогасіння.

Оператор, що буде здійснювати ввід даних матиме доступ до обмеженої інформації для конкретного підрозділу.

Загальний вигляд форми створення картки пожежі для розрахунку матеріальних витрат представлено на рис. 5.

Місце виникнення (адреса, можливо географічні координати)
Черкаська область, Черкаський район, с. Денги, вул. Мирна, 6

Час виникнення
13.06.2025

Фактично витрачений час (хв) 40 Кількість залучених осіб 2 Вартість А-92 (грн за л) 56 Вартість ДП (грн за л) 50

Техніка

Пожешній автомобіль	Витрати пального	Вантажний автомобіль	Витрати пального
☐ DAIMLER-BENZ 1019 AF		☐ ГАЗ 66-05	
☒ АЦ-40(131)137А	5 літрів		
☒ АЦ-40(432921)635.02	10 літрів		
☐ АЦ-4-60(5309)505М			

Спеціальний автомобіль	Витрати пального	Інші транспортні засоби	Витрати пального
☐ ВАЗ-21101		☐ DAF автобус	
☐ САРМ-Л		☐ ПАЗ-44	
☐ Kia Sportage			

Особовий склад

☒ Іваненко Олександр Михайлович	Командир відділення
☒ Дорошенко Володимир Васильович	водій
☐ Шевченко Максим Миколайович	пожешний-рятувальник
☐ Франко Микола Васильович	пожешний-рятувальник

Рис. 5. Інтерфейс сторінки внесення даних про пожежу.

Як видно з рис. 5, дані, що вносить оператор пожежно-рятувальної частини є мінімальними. Решту інформації, що включає в себе розрахунки витрат вже внесено в алгоритм розрахунку, що засновано на [1]. Детально принципи розрахунку показано в [10].

Ввівши дані, оператор натискає кнопку «Занести дані». Отриманий результат одразу буде відображено на екрані та збережено в базу даних. Загальний вигляд картки пожежогасіння відображено на рис. 6 (є прикладом: всі дані вигадано).

Розрахунок		
витрат на гасіння пожежі		
4 державний пожежно-рятувальний загін Головного управління ДСНС України у Черкаській області		
що виникла:		02.05.2024
місцезнаходження: с. Кайтанівка, вул. Печиборща, 8		
Фактично витрачений час хв.:		104
Кількість залучених осіб підрозділу:		4
№ з/п	Витрати	сума, грн
1	2	3
I. Прямі витрати на гасіння пожежі		
1.	Прямі матеріальні витрати:	1725,54
	Вартість ПММ	1423,898
	Вартість вогнегасних речовин	0
	вартість інших прямих матеріальних витрат	
2	Прямі витрати на оплату праці	238,47
3	Інші прямі витрати	63,18
II. Загальновиробничі витрати для гасіння пожежі		
1.	Загальновиробничі витрати на гасіння пожежі:	2229,17
	витрати на управління підрозділом, що здійснює заходи, спрямовані на гасіння пожежі	1433535,48
	амортизація основних засобів загальновиробничого призначення	3293,68
	витрати на операційну оренду будівлі (приміщення) та витрати на поточний ремонт	670000
	оплата охорони праці, техніки безпеки й охорони навколишнього середовища	0
	оплата послуг сторонніх організацій	445860
	оплата тепло- водопостачання і водовідведення, електроенергії й інших послуг на утримання приміщень	666033
	витрати на службові відрядження осіб, безпосередньо пов'язаних із здійсненням заходів, спрямованих на гасіння пожежі	86100
	витрати на утримання, експлуатацію та ремонт, страхування, інші необоротні активи, призначені для забезпечення функціонування підрозділу	49086
	Сума загальної опосередкованої вартості загальновиробничих витрат підрозділу за рік	3353908,16
2	Витрати на оплату праці та відрахування на соціальні заходи працівників, безпосередньо залучених до ліквідації пожежі, за рік	42540044,69
3	Сума загальних витрат на оплату праці та відрахування на соціальні заходи всіх працівників підрозділу за рік	50244556,37
Всього:		3954,71
Начальник 2 ДПРП 4ДПРЗ Олександр ГОРБУНОВ		
Начальник караулу 2 ДПРП 4 ДПРЗ Сергій РОМАНЧЕНКО		

Рис. 6. Інтерфейс сторінки відображення картки пожежогасіння (дані не є реальними, а наведені для візуалізації).

Після розробки даної системи було визначено її ефективність. Загалом, ефективність роботи будь-якої інформаційної системи зазвичай визначається за сукупністю технічних, економічних, організаційних та функціональних критеріїв. Залежно від контексту, ці критерії можуть варіюватися, але для автоматизованих систем у сфері державного управління й безпеки особливо важливими є такі аспекти:

- точність (мінімізація помилок при обробці даних);

- швидкодія (час відповіді системи на запити);

- надійність (здатність системи працювати без збоїв);

- масштабованість (можливість розширення функціональності без переробки архітектури);

- захищеність (рівень безпеки обробки та зберігання даних);

- інтероперабельність (здатність інтегруватися з іншими інформаційними системами);

- зручність використання (UX/UI та адаптованість для користувача);
- економічна доцільність (вартість впровадження та супроводу).

Порівняння ефективності розробленої автоматизованої системи розрахунку витрат на гасіння пожеж та поточного підходу до вводу даних, приведені у табл. 1

Таблиця 1.

Порівняльна таблиця систем

Критерій	Ручне введення даних	Автоматизована система обліку
Точність розрахунків	Низька (залежить від людського фактора)	Висока (точність закладеного алгоритму)
Швидкість обробки даних	Низька	Висока (реальний час, відсутність необхідності розрахунків)
Ймовірність помилок	Висока (помилки під час розрахунків)	Низька
Прозорість і контроль	Обмежена	Повна прозорість та аудит
Можливість інтеграції з іншими системами	Відсутня	Можлива через API
Затрати часу персоналу	Високі	Мінімальні
Відповідність нормативам	Вимагає підготовки користувача	Автоматична перевірка на відповідність, легко вносити корективи
Можливість аналітики та прогнозування	Обмежені можливості	Розширені можливості

Представлена таблиця відображає, що створена автоматизована система розрахунку витрат на гасіння пожежі підвищує ефективність роботи операторів та служби ДСНС за рахунок зниження ризику помилок, зменшення часу на заповнення картки та високого рівня безпеки зберігання даних.

Наступним етапом роботи стала перевірка на основі даних з відкритих джерел. У вільному доступі є дані про пожежі та надзвичайні ситуації різного характеру в м. Лондон, в період з 2009 по 2017 роки [12]. Їх було внесено у автоматизовану систему та отримано статистичні дані, що відображено на рис. 7 – 9.

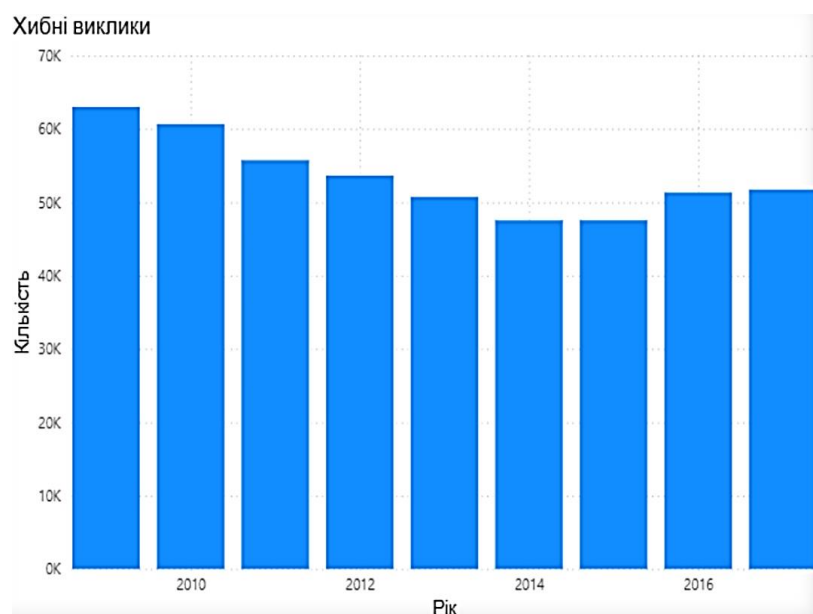


Рис. 7. Приклад вибору особового складу, задіяного під час ліквідації пожежі.

В процесі трансформації даних та виконання певних математичних операцій було отримано кількість хибних викликів з

поділом по роках (рис. 7) відображено, що дозволяє робити висновки, щодо відсотку від загальної кількості викликів.

Витрати

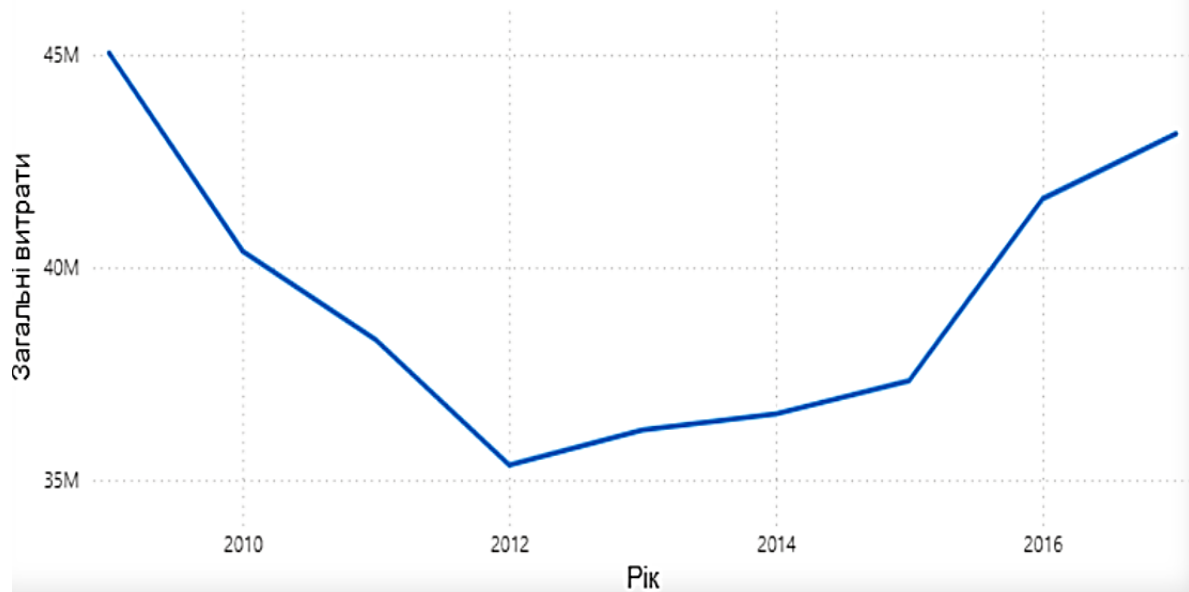


Рис. 8. Приклад вибору особового складу, задіяного під час ліквідації пожежі.

Також дані дали можливість проаналізувати кількість затрат на реагування та ліквідацію зазначених пожеж

та інших надзвичайних ситуацій (рис. 8) з метою формування висновків, щодо розподілу державного фінансування [12].

Кількість інцидентів із залучення більш ніж двох автомобілів

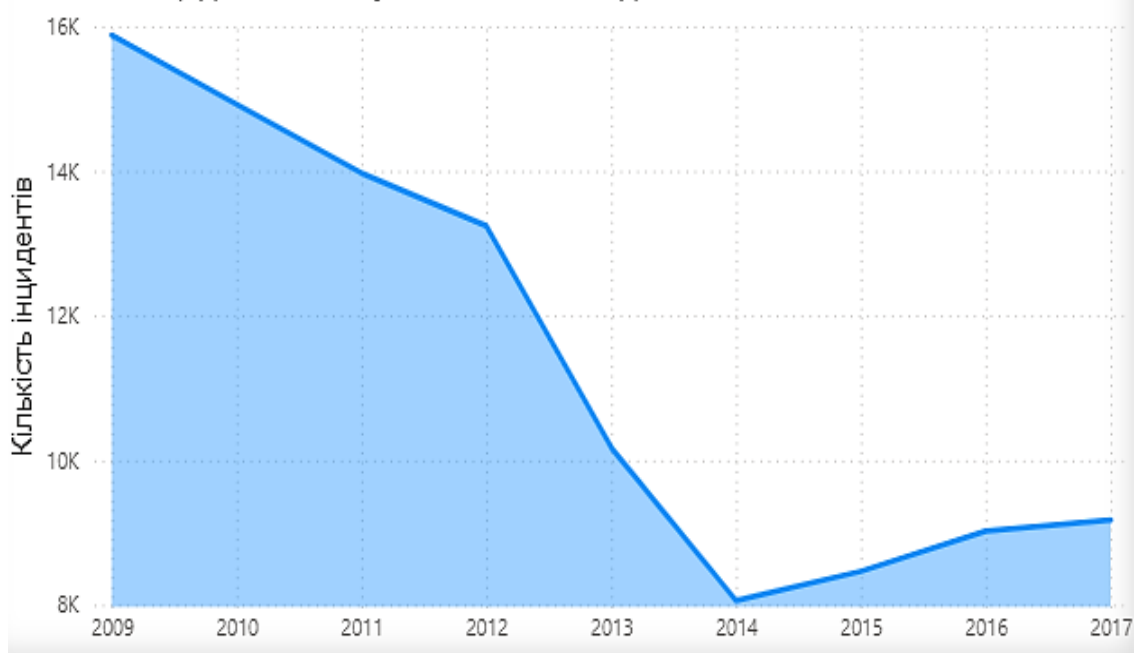


Рис. 9. Приклад вибору особового складу, задіяного під час ліквідації пожежі.

Також виведено інформацію про кількість інцидентів, на які були залучені більше ніж два автомобілі (рис. 9), що може допомогти відокремити від загальної кількості інциденти низької складності.

На рис. 10. представлено схему внесення даних та виводу результатів розрахунку, що було створено для візуалізації роботи системи, алгоритму якої описано у тексті даної статті

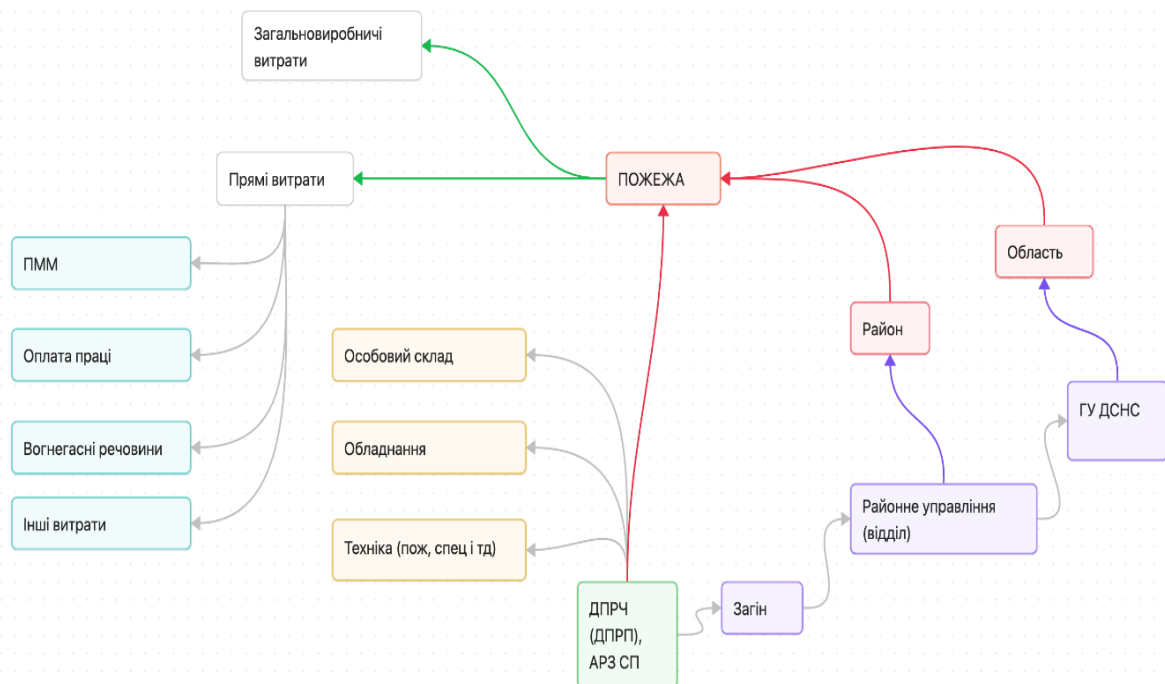


Рис. 10. Загальна схема внесення даних та виводу результатів розрахунку.

Перспективою подальших досліджень та розвитку даного дослідження є апробація роботи системи реальними підрозділами ОРС ЦЗ. Дана робота запланована у 4-му кварталі 2025 року у рамках виконання ДКР 0125U001394 на замовлення ДСНС України [11]. Після цього буде проведено аналіз помилок та запитів, а також внесено зміни у алгоритм роботи автоматизованої системи.

Висновки.

У межах даної наукової роботи обґрунтовано принцип функціонування автоматизованої системи розрахунку витрат на гасіння пожеж, розробленої відповідно до Методики, затвердженої наказом МВС України № 55 від 31.01.2024. Сформовано структуру системи, яка передбачає облік подій, техніки, особового складу, логістичних параметрів та інтеграцію з нормативно визначеними витратними статтями.

У результаті проведеного дослідження було:

- описано ключові елементи розробленої автоматизованої системи;
- визначено перелік вихідних даних, необхідних для проведення розрахунків;
- розроблено структуру електронної облікової картки пожежі як джерела вихідних даних;
- запропоновано алгоритм автоматизованого розрахунку витрат, який забезпечує точність, швидкість обробки, відповідність нормативам та можливість масштабування на основі методики [1];
- проведено порівняльний аналіз ефективності автоматизованого підходу у порівнянні із поточним (ручним), що засвідчив переваги цифрового інструменту за критеріями точності, прозорості, часу обробки та інтеграції.

Таким чином, отримані результати підтверджують доцільність впровадження автоматизованої системи у практичну діяльність підрозділів ДСНС. Система дозволяє не лише підвищити ефективність управління ресурсами при гасінні пожеж, але

й створює основу для подальшого розвитку єдиної цифрової платформи у сфері цивільного захисту. Розвитком даної статті є

апробація роботи даної системи реальними підрозділами ОРС ЦЗ. Після чого необхідно провести аналіз якості роботи системи.

Список літератури

1. Методика розрахунку витрат на гасіння пожежі : затверджено наказом МВС України від 31.01.2024 № 55. Київ : МВС України, 2024. 25 с.
2. Посібник з обліку пожеж та їх наслідків: [науково-практичне видання]. К. : Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту ; ТОВ «ІММ «Фраксім», 2020. 136 с.
3. Долженкова О. О., Іванківа В. В. Динаміка економічних втрат України від пожеж. Молодий вчений. 2018. № 12 (64). С. 610–613.
4. Климаць Р. В., Одинець А. В. До проблеми оцінювання збитків від пожеж, заподіяних веденням бойових дій. 2022.
5. Андрєєва В. В., Гофман М. В. Оцінка збитків від пошкодження майна внаслідок військової агресії РФ в Україні. Вчені записки Університету «КРОК». 2024. № 1 (73). С. 20–27.
6. Опенько І. А., Цвях О. М. Регресійний аналіз економічних наслідків від лісових пожеж в Україні. 2019.
7. Буц Ю. В. Динаміка ландшафтних пожеж в Україні та еколого-економічні наслідки їх виникнення. Вісник Одеського національного університету. Географічні та геологічні науки. 2013. Т. 18. № 2 (18). С. 111–117.
8. Дендаренко В. Ю., Ковальчук В. М. Методи відображення комплексного впливу факторів. Синтез багатопараметричних моделей. Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація. 2021. Т. 5. № 2. С. 32–36.
9. Удовенко М. Ю., Дендаренко В. Ю. Автоматизація процесів під час перевезення нафти та нафтопродуктів. Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація. 2023. Т. 7. № 2. С. 71–80.
10. Удовенко М. Ю., Дендаренко В. Ю., Мельник В. П., Нуязін О. М., Кришталь Д. О., Цвіркун С. В. Автоматизована система розрахунку витрат на гасіння пожежі. Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація. 2025. Т. 9. № 1. С. 165–172.
11. Реєстраційна картка НДДКР 0125U001394 «Інформатизація порядку ведення обліку пожеж та їх наслідків: цифрова комплексна система розрахунку витрат на гасіння пожежі» (шифр – «Цифрова комплексна система»). URL: <https://qr.me-qr.com/7fzP1X9x>
12. London Fire Brigade Incident Records. <https://data.london.gov.uk/dataset/london-fire-brigade-incident-records/>

References

1. Methodology for calculating fire suppression costs: approved by the order of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine No. 55 dated 31.01.2024. Kyiv: Ministry of Internal Affairs of Ukraine, 2024. 25 p.
2. Manual on fire accounting and its consequences: [scientific and practical edition]. Kyiv: Institute of Public Administration and Scientific Research on Civil Protection; LLC “IMM ‘Fraksim’”, 2020. 136 p.
3. Dolzhenkova O. O., Ivankiva V. V. Dynamics of economic losses in Ukraine due to fires. Young Scientist. 2018. No. 12 (64). P. 610–613.
4. Klymas R. V., Odynets A. V. On the issue of assessing fire damage caused by hostilities. 2022.
5. Andrieieva V. V., Hofman M. V. Assessment of property damage caused by Russian military aggression in Ukraine. Scientific Notes of the University “KROK”. 2024. No. 1 (73). P. 20–27.
6. Openko I. A., Tsviakh O. M. Regression analysis of economic consequences of forest fires in Ukraine. 2019.
7. Buts Yu. V. Dynamics of landscape fires in Ukraine and their ecological and economic consequences. Bulletin of Odesa National University. Geographical and Geological Sciences. 2013. Vol. 18. No. 2 (18). P. 111–117.
8. Dendarenko V. Yu., Kovalchuk V. M. Methods of reflecting the complex influence of factors. Synthesis of multiparametric models. Emergencies: Prevention and Elimination. 2021. Vol. 5. No. 2. P. 32–36.
9. Udovenko M. Yu., Dendarenko V. Yu. Automation of processes during the transportation of oil and petroleum products. Emergencies: Prevention and Elimination. 2023. Vol. 7. No. 2. P. 71–80.
10. Udovenko M. Yu., Dendarenko V. Yu., Melnyk V. P., Nuyanzin O. M., Kryshtal D. O., Tsvirkun S. V. Automated system for calculating fire suppression costs. Emergencies: Prevention and Elimination. 2025. Vol. 9. No. 1. P. 165–172.
11. Research registration card 0125U001394 "Digital system for fire incident accounting and cost calculation for fire suppression" (code – “Digital Integrated System”). URL: <https://qr.me-qr.com/7fzP1X9x>
12. London Fire Brigade Incident Records. <https://data.london.gov.uk/dataset/london-fire-brigade-incident-records/>

Дендаренко Владислав Юрійович – кандидат технічних наук, доцент, начальник кафедри цивільного захисту та інформаційних технологій навчально-наукового інституту цивільного захисту, Національний університет цивільного захисту України (вул. Онопрієнка, 8, м. Черкаси, Україна, 18034).

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5833-1257>

E-mail: dendarenko_vladyslav@nuczu.edu.ua

Кришталь Дмитро Олександрович – кандидат наук з державного управління, старший науковий співробітник науково-дослідної лабораторії пожежної та техногенної безпеки навчально-наукового інституту пожежної та техногенної безпеки, Національний університет цивільного захисту України (вул. Онопрієнка, 8, Черкаси, 18034, Україна).

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3254-4574>

E-mail: kryshtal_dmytro@nuczu.edu.ua

Мельник Валентин Павлович – кандидат технічних наук, доцент, начальник навчально-наукового інституту пожежної та техногенної безпеки, Національний університет цивільного захисту України (вул. Онопрієнка, 8, Черкаси, 18034, Україна).

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1760-229X>

E-mail: melnyk_valentyn@nuczu.edu.ua

Нуязін Олександр Михайлович – доктор технічних наук, професор, начальник науково-дослідної лабораторії пожежної та техногенної безпеки навчально-наукового інституту пожежної та техногенної безпеки, Національний університет цивільного захисту України (вул. Онопрієнка, 8, Черкаси, 18034, Україна).

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2527-6073>

E-mail: nuianzin_oleksandr@nuczu.edu.ua

Удовенко Максим Юрійович – начальник відділу з міжнародного співробітництва, Національний університет цивільного захисту України (вул. Онопрієнка, 8, Черкаси, 18034, Україна).

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4143-8645>

Email: udovenko_maksym@nuczu.edu.ua

Цвіркун Сергій Вікторович – кандидат технічних наук, доцент, начальник навчально-наукового інституту інженерної та спеціальної підготовки, Національний університет цивільного захисту України (вул. Онопрієнка, 8, Черкаси, 18034, Україна).

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1807-9330>

E-mail: tsvirkun_serhii@nuczu.edu.ua

DESIGN AND CONCEPTUAL FRAMEWORK OF AN AUTOMATED SYSTEM FOR CALCULATING FIRE SUPPRESSION COSTS

Objective. The aim of the study was to justify the operating principle of an automated system, create its logical structure, define input and output parameters, and develop a cost calculation algorithm. The study analyzes the current regulatory framework, identifies the shortcomings of manual calculation methods including time delays and the risk of errors and demonstrates the feasibility of automation. The proposed system includes modules for tracking events, equipment, personnel, and consumables, and enables the creation of an electronic fire incident card and automatic generation of financial reports.

Methodology. The research applies an interdisciplinary approach using methods of conceptual modeling, algorithm development, efficiency analysis, and information integration (via API with systems such as the Civil Protection Emergency Management System). A comparative evaluation of manual and automated cost calculation methods was conducted based on criteria such as accuracy, speed, integration compatibility, transparency, and resource consumption.

Results. The paper presents the concept and operating principles of an automated system for calculating fire suppression costs in the units of the State Emergency Service of Ukraine. The system is developed based on the provisions of the Methodology for Calculating Fire Suppression Costs, approved by Order No. 55 of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine dated January 31, 2024. It is part of a broader project aimed at the digital transformation of fire safety management processes.

Scientific Novelty. For the first time, the operating principle of an automated system for calculating fire suppression costs has been substantiated, developed in accordance with the Methodology approved by Order No. 55 of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine dated January 31, 2024. The system structure has been developed to account for events, equipment, personnel, logistics parameters, and integration with normatively defined cost items. The formation of a unified digital environment for effective fire safety management has been further advanced.

Practical Value. The research results demonstrate the high potential for implementing the developed system in the practice of civil protection authorities. It enhances management efficiency, reduces staff workload, ensures compliance with regulations, and contributes to the formation of a unified information space in the field of civil safety.

Key words: fire, firefighting, consequences, expenses, digitalization, calculation, automated system.

Vladyslav Dendarenko – PhD, Associate Professor, Head of the Department of Civil Defense and Information Technologies of the Educational and Scientific Institute of Civil Defense of the National University of Civil Defense of Ukraine (Onopriienko St., 8, Cherkassy, Ukraine, 18034).

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5833-1257>

E-mail: dendarenko_vladyslav@nuczu.edu.ua

Dmytro Kryshthal – Candidate of Sciences in Public Administration, Senior Research Scientist Laboratory of Fire and Technogenic Safety of Educational and Scientific Institute of Fire and Technogenic Safety of National University of Civil Protection of Ukraine (8 Onopriienko St., Cherkasy, 18034, Ukraine).

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3254-4574>

E-mail: kryshthal_dmytro@nuczu.edu.ua

Valentyn Melnyk – PhD, Associate Professor, Head of Educational and Scientific Institute of Fire and Technogenic Safety of National University of Civil Protection of Ukraine (8 Onopriienko St., Cherkasy, 18034, Ukraine).

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1760-229X>

E-mail: melnyk_valentyn@nuczu.edu.ua

Oleksandr Nuianzin – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Research Laboratory of Fire and Technogenic Safety of Educational and Scientific Institute of Fire and Technogenic Safety of National University of Civil Protection of Ukraine (8 Onopriienko St., Cherkasy, 18034, Ukraine).

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2527-6073>

E-mail: nuianzin_oleksandr@nuczu.edu.ua

Maksym Udovenko – Head of international cooperation department of National University of Civil Protection of Ukraine (8 Onopriienko St., Cherkasy, 18034, Ukraine).

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4143-8645>

Email: udovenko_maksym@nuczu.edu.ua

Sergii Tsvirkun – PhD, Associate Professor, Head of the Educational and Scientific Institute of Engineering and Specialized Training of National University of Civil Protection of Ukraine (8 Onopriienko St., Cherkasy, 18034, Ukraine).

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1807-9330>

E-mail: tsvirkun_serhii@nuczu.edu.ua

УДК 614.84

[https://doi.org/10.36910/3083-6255/2\(2\).2025.41-52](https://doi.org/10.36910/3083-6255/2(2).2025.41-52)

Г. І. Єлагін
Д.О. Кришталь
А.Г. Алексєєв
Н.М. Гавриленко
М.А. Куценко

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВОГНЕГАСНОЇ ДІЇ ЗАСОБІВ ЗАПОБІГАННЯ ПОШИРЕННЯ ПОЖЕЖ НА ТОРФОВИЩАХ

Мета. З метою підвищення ефективності запобігання поширенню пожеж на торфовищах досліджено засоби на основі високопористих мінеральних носіїв, зокрема спученого вермікуліту, іммобілізованих вогнегасними солями. Особливу увагу приділено аналізу фізико-хімічного механізму їх дії, що включає фізичну стадію (вивільнення інгібітору з пор носія) та хімічну стадію (взаємодію інгібітору з активними частинками горіння).

Методика. Для визначення впливу складу засобів на механізм припинення горіння проведено топохімічний аналіз взаємодії інгібітору з радикалами та досліджено залежність повноти його вивільнення з пор носія від марки спученого вермікуліту та типу вогнегасної солі (амонійфосфат, діамонійфосфат) за температур, характерних для умов горіння торфу.

Результати. Встановлено, що пояснення механізму дезактивації активних частинок горіння шляхом їх адсорбції на поверхні інгібітору або гомолітичного розкладу молекул є недостатньо обґрунтованими. Найбільш переконливою є гіпотеза про взаємодію активних частинок з цілими молекулами інгібітору з утворенням комплексу, що делокалізує вільну валентність та суттєво знижує активність радикалів. Доведено, що від марки спученого вермікуліту повнота вивільнення інгібітору майже не залежить, проте кращі результати показав діамонійфосфат.

Наукова новизна. Удосконалено уявлення про фізико-хімічний механізм дії вогнегасних засобів на основі високопористих мінеральних носіїв. Обґрунтовано делокалізаційний механізм зниження активності вільних радикалів у процесі горіння, що забезпечує більш точне пояснення інгібуючого ефекту.

Практична цінність. Результати дослідження доводять ефективність використання діамонійфосфату як інгібітора горіння та окреслюють перспективні напрями подальших досліджень, зокрема пошук більш придатних високопористих носіїв для зменшення індукційного періоду початку дії засобу.

Ключові слова: торфовища, горіння торфу, інгібітори горіння, вогнегасні засоби високопористі носії, іммобілізація, спучений вермікуліт.

Вступ.

Болота – важлива частина екологічної системи нашої планети. Їх бездумне осушення шкодить довкіллю. На жаль, ще декілька десятків років тому осушення боліт вважалося справою прогресивною, яка збільшує площі, придатні для землеробства, і дозволяє перетворювати болота на джерело дешевого палива і ефективного органічного добрива. На сьогодні доведено, що такий підхід завдає набагато більше шкоди, ніж приносить користі. При своєму розвитку рослини поглинають вуглекислий газ. Рослинні залишки, відмираючи в умовах підвищеної вологості піддаються анаеробному розкладу, яке проходить без виділення цього газу. Більша частина відмерлої органіки сторіччями лишається у вигляді целюлози та лігнінів і лише протягом тисячоліть частина з них перетворюється у вугілля. Таким чином, болота по суті є акумуляторами

вуглекислого газу. При осушенні, до цих залишків забезпечується доступ повітря. Анаеробний розклад замінюється аеробним окисненням, вуглець реагує з киснем повітря і виділяється у вигляді карбону діоксиду, перетворюючи осушені болота з акумуляторів вуглекислого газу на потужне джерело його утворення, збільшення вмісту якого в атмосфері стає все більшою проблемою. Крім того, осушені болота стають схильними до загорання. Масштабні торфяні пожежі виникають у всьому світі, в Україні ця проблема виникає кожного літа. Особливість пожеж на торфовищі - недостатня кількість окисника і наявність у складі торфу сполук, які згоряють повільно. В результаті, повне згорання на торфовищі не відбувається, що призводить до виділення, крім карбону діоксиду, значної кількості чадного газу, інших отруйних речовин і канцерогенного диму рідких та твердих продуктів піролізу.

Пожежі на торфовищах завдають відчутної шкоди оточуючому середовищу і призводять до значних матеріальних збитків. Гасити ж ці пожежі і запобігати їх поширенню складно та дорого, до того ж розташовані торфовища здебільшого в місцях, віддалених від джерел водопостачання. Набагато дешевше запобігти поширенню пожежі. Між тим, засоби запобігання поширенню пожеж на торфовищах в основному зводяться до об'ємних і вартісних робіт з викопування ровів і заповнення їх різного роду негорючими матеріалами. Розробка і вдосконалення відносно недорогих і екологічно безпечних засобів запобігання поширенню пожеж на торфовищах – завдання актуальне з усіх точок зору.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Торф'яне родовище, торф'яник, рідко торфовик, - ділянка земної поверхні, для якої характерне надлишкове зволоження, наявність торф'яного покладу й рослинного покриву, що складається з вологофобних рослин-торфоутворювачів. Відмираючи, вони не піддаються повному розпаду, а у напіврозкладеному стані утворюють торф [1]. Торф'яники поширені по всьому світу: за полярним колом, в районах вічної мерзлоти, на високогір'ях, в прибережних районах, в тропічних лісах. Найбільші поклади торфу знаходяться в Росії, Канаді, Індонезії та Сполучених Штатах Америки [2]. В Україні, згідно державного балансу запасів корисних копалин, торф'яники займають близько 1,5 млн. гектарів, з балансовими запасами торфу 244115000 тон, небалансовими - 57199000 тон.

Під час росту рослини засвоюють двооксид вуглецю, поглинаючи його з атмосфери. Коли рослинні залишки відмирають, то в болотах вони потрапляють в середовище, збіднене киснем. Під дією анаеробних мікроорганізмів більша їх частина перетворюється в неоднорідну масу з полісахарів, геміцелюлози, целюлози, лігнінів і інших сполук, що містилися в рослинах, у тому числі тих, які мали у структурі сірку, фосфор, азот та інші хімічні елементи. Ця маса збагачена вуглецем, який був вилучений з атмосфери.

В осушених болотах рівень води знижується, що призводить до контакту цієї

маси з повітрям і запуску процесів аеробного окислення геміцелюлози, целюлози і до деякої міри лігнінів, з утворенням води і вуглекислого діоксиду. Торф'яники зі сховищ CO_2 перетворюються на джерело його викидів в атмосферу.

На осушених торфовищах дуже часто виникають пожежі. Особливо небезпечні штабельовані поклади висушеного торфу і ділянки, покинуті після фрезерного його видобутку, де подрібнений сухий торф – ідеальний матеріал і для самозаймання і для займання примусового. Пожежа, що виникає, в подальшому поширюється і поверхнею торф'яника і, головне, його глибинними шарами. Іноді вогонь, точніше тління, розповсюджується шарами, що розташовані на глибині до 5 метрів і більше. Торф'яні пожежі відзначаються вагомим економічними і екологічними наслідками. Втрати від таких пожеж складаються з витрат на безпосереднє гасіння пожежі і втрат, пов'язаних з порушенням екологічної безпеки.

Будь-який торф складається з целюлози, геміцелюлози, лігніну, бітумів, гумінових кислот та фульвокислот. В більшості випадків торф'яна маса містить також залишки меркаптанів, амінокислот, дисульфідів і сполук фосфору, які утворюються з фосфоліпідів, нуклеотидів, РНК та ДНК тварин і рослин та їх насіння. З продуктами горіння такої суміші в повітрі поширюється велика кількість речовин, небезпечних для довкілля. [3] На прикладі згорання зразків торфу Ірдинського родовища (Черкаська область України) було визначено, що при згоранні 1 кг такого торфу в повітря в середньому переходить близько 7 кг газоподібних продуктів і 0,1 кг твердих та рідких частинок. В газоподібних продуктах такі шкідливі речовини як: CO_2 (більше 1кг), CO (близько 0,4кг), SO_2 (близько 0,15кг) та NO_2 (близько 0,02кг), решта – азот, пари води та деяка кількість таких органічних сполук як NH_3 (аміак), H_2CO (формальдегід) і інші альдегіди, а також канцерогенні феноли, бензпірен та інші. Що стосується CO_2 , то у світовому масштабі об'єми його річних викидів від дренажу, пожеж та господарської експлуатації торф'яників прирівнюють до 10 відсотків річних об'ємів викидів від сумарного спалювання вугілля, нафти та газу. Тверді частинки

утворюють суспензії з газоподібними продуктами згорання, які перетворюються в їдкий і отруйний дим. При пожежах на торфовищах задимленість і токсичність значно перевищують відповідні показники лісових, степових і інших звичайних пожеж на відкритих просторах. Як було підраховано [4] згідно з діючою інструкцією [5,6], втрати за забруднення довкілля в цьому випадку складають 832000 грн за 1 га площі пожежі. І це, не враховуючи кислотних дощів від забруднення атмосфери діоксидом сульфуру та діоксидом нітрогену, пригнічення і знищення рослинності, зміни клімату та глобального потепління, до яких веде надмірний викид вуглекислого газу.

Гасити ж ці пожежі складно та дорого, до того ж розташовані торфовища здебільшого в місцях важкодоступних і віддалених від джерел водопостачання. В більшості випадків, залучати для доставки води автотранспорт нерационально, а часом, і неможливо. Мало придатні тут і звичайні засоби гасіння. Ізоляція зони горіння і тління від окисника тут не має сенсу. Осушений торф має під поверхнею кисень у своїй структурі і повітря ззовні в цьому випадку для горіння не потрібне. Створити на відкритому просторі потрібну концентрацію інертного газу чи хладону – неможливо. Вогнегасний порошок можна нанести лише на поверхню, до підшарових дільниць він не проникає. Єдине, що лишається, – вода. Але вона або просто не проникає під поверхню, або стікає струмочками в окремі діри глибоко під шар торфу. Тому води потрібно дуже багато, на 1м³ торфу потрібно більше 1м³ води, а торфовища, як правило, розташовані в місцях, віддалених від джерел водопостачання.

На торфовищах особливого значення набуває вислів про те, що набагато легше запобігти пожежі, ніж потім її гасити. Зараз для запобігання поширенню пожеж на торфовищах застосовуються зволоження торфовищ та способи, які базуються на фізико-хімічному механізмі зниження концентрації горючих речовин навколо зони горіння.

Там, де дозволяє рельєф місцевості, зводять дамби, які затримують талі води та води опадів. Підйом рівня води затоплює торфовище. В патенті РФ № 2 438 738

[7] пропонується прокладати канали з уступами, на яких створювати свердловини і засипати їх фільтруючим матеріалом; після чого, заповнювати канали водою та підтримувати її рівень вище рівня уступів. Патентами України UA № 153448 [8] та UA № 104989 [9] пропонується по контуру пожежонебезпечних ділянок створювати стінки – бар'єри з буронабивних паль у ґрунтоцементній оболонці і/або азбестоцементних труб із водостійким захистом, верхній кінець яких має виступати над рівнем поверхні ділянки, а нижній занурюватися до рівня мінерального ґрунту або до рівня ґрунтових вод родовища. Палі потім заповнювати природним і/або штучним дисперсним вогнетривким матеріалом.

Недоліками всіх цих способів є великий об'єм земляних і будівельно-монтажних робіт та необхідність доставки десятків тон вартісних наповнювачів, таких як фільтруючі матеріали, поглинаючі полімери, азбестоцементні труби, бетонні плити і ін.

Між тим, більшість дослідників самоспалахування торфу в глибині торфовища вважає маловірогідним. В основному торф'яні пожежі виникають з вини людини і, рідше, під дією сонячних променів або блискавки. У будь-якому з цих випадків горіння починається на поверхні і вже потім поширюється вглиб. Отже, запобігати поширенню вогню треба не тоді, коли він вже набрав силу і вирує на поверхні та під нею, а в перші хвилини після виникнення, тобто саме на поверхні.

З цієї точки зору більш виправданим і значно дешевшим виглядає спосіб запобігання поширенню таких пожеж шляхом нанесення на поверхню торфов'яного родовища вогнегасного засобу, який складається з суміші подрібнених порід, що містять карбонати, оксид кремнію, глину та кремнійфтористий натрій [10, 11]. За теорією, при виникненні пожежі подібні суміші мають розкладатися з виділенням вуглекислого газу. Фізико-хімічний механізм гасіння пожежі цим способом полягає у заміщенні кисню повітря вуглекислим газом, тобто по суті у флегматизації горіння зниженням концентрації окисника. Але така флегматизація ефективна лише в закритих приміщеннях, на відкритому просторі

збіднене киснем повітря відразу замінюється свіжим. Крім того, компоненти суміші мають значну насипну масу, що приведе до швидкого занурення їх під поверхню, особливо при зволоженні цієї поверхні першим же дощем. чи навіть просто вранішньою росю. В принципі, замість такої складної суміші можна було б розсіяти на поверхні торфовища вогнегасний порошок. Але ці порошки теж мають значну насипну масу, до того ж основна складова вогнегасних порошоків - водорозчинні солі. І перший же дощ теж змие порошок з поверхні торфовища.

Проблему може вирішити вогнегасний засіб, який являє собою нерозчинний у воді подрібнений високопористий мінеральний носій (спучений вермікуліт), пори якого іммобілізовані вогнегасною сіллю, амонію фосфатом або діамонію фосфатом [12]. Пори такого носія мають настільки малий діаметр, що поверхневий натяг води не дозволяє їй проникнути всередину носія. Саме це створювало проблеми при виготовленні засобу, коли ці пори необхідно було заповнити розчином вогнегасної солі. Вихід було знайдено застосуванням вакуумної техніки. Гранули носія помішали в розчин вогнегасної солі і утримували під поверхнею цього розчину в закритій системі. При підключенні вакууму повітря виходило з пор і, проходячи крізь шар розчину, залишало систему. Подальше з'єднання системи з атмосферою приводило до заповнення звільнених від повітря пор розчином вогнегасної солі. В результаті отримували гранули, всередину яких вода при звичайних умовах проникнути і вимити вогнегасну компоненту неспроможна. Кожна гранула такого засобу вдвічі-втричі легша за воду і за торф, що запобігає занурюванню засобу під поверхню. Після нанесення такої засіб може роками лежати на поверхні, практично не змінюючись. У випадку ж виникнення горіння, під дією підвищеної температури вогнегасні компоненти десорбуються з пор носія (або розкладаються) і виходять на поверхню у вигляді летючих дрібнодисперсних частинок, які інтенсивно розподіляються над поверхнею

Вузким місцем цього засобу є досить тривалий індукційний період початку його дії, що пояснюється необхідністю нагріву

вогнегасної солі до потрібної температури, тобто до температури її десорбції і розкладу. Мінеральний же носій, має помітні теплоізолюючі властивості і прогрів стінок його капілярів вимагає декількох хвилин.. Ефективність і тривалість дії таких засобів залежать від їх складу, в першу чергу від співвідношення носій:вогнегасна сіль і від типу вогнегасної солі, які повинні обиратися з урахуванням фізико-хімічного механізму взаємодії цієї солі з елементами полум'я або тління.

Мета статті (постановка завдання).

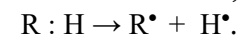
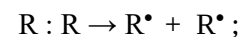
Метою роботи є аналіз фізико-хімічного механізму придушення полум'я та тління на торфовищах засобами на основі високопористих носіїв, іммобілізованих вогнегасними солями, і визначення залежності індукційного періоду та терміну дії цих засобів від їх складу. Задачі:

1. Провести аналіз механізму взаємодії засобів на основі високопористих носіїв, іммобілізованих вогнегасними солями, з полум'ям та тлінням сухого торфу.
2. Дослідити залежність повноти розкладу і десорбції вогнегасних солей з пор носія від температури і складу засобу.
3. Проаналізувати отримані результати та визначити напрямки подальших досліджень, спрямованих на удосконалення засобів попередження поширення пожежі на торфовищах.

Виклад основного матеріалу.

Вплив інгібіторів на припинення горіння вимагає чіткого розуміння механізму їх дії.

На сьогодні вважається доведеним, що і полум'яне горіння і тління відбуваються з проміжним утворенням активних частинок, які виникають в результаті гомолітичного розкладу молекули горючої речовини при потраплянні в систему надлишку енергії, зокрема при підпалі:

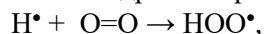


Наприклад, молекула метану руйнується з утворенням метилу і гідрогену:

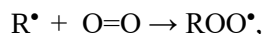
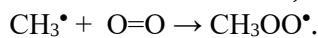
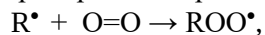


Ці частинки, їх називають вільними радикалам, надзвичайно активні і звичайно існувати у вільному вигляді більше, ніж 10^{-8} частки секунди не здатні. Вони миттєво реагують з молекулами кисню,

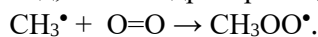
руйнуючи подвійний зв'язок цих молекул. В результаті виникають гідрогенпероксидні:



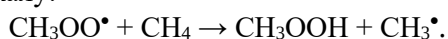
та алкілгідропероксидні радикали:



наприклад, метилгідропероксид:



Але ці радикали теж мають вільну валентність і миттєво руйнують свіжу молекулу горючої речовини з утворенням нової молекули (наприклад, метилгідропероксиду) і нового вільного радикалу:



Розрив пари електронів вимагає витрат енергії, а утворення нової пари – її виділення. Якщо при цьому утворення нової молекули дає більше енергії, ніж її потрібно для розриву старої, процес розвивається лавиноподібно, за ланцюговим механізмом. Один вільний радикал може започаткувати мільярди перетворень молекул кисню і молекул горючої речовини за одну секунду.

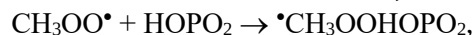
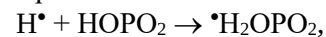
Фізико-хімічний механізм припинення горіння інгібуючими засобами полягає в їх здатності дезактивувати ці активні частинки горіння. Оскільки, зазвичай для припинення горіння такий засіб вводиться у кількості 2-3% від об'єму зони горіння, зрозуміло, що ні про охолоджуючу, ні про ізолюючу дію мови тут бути не може. Неможливе зниження такою кількістю інгібатору концентрації горючих речовин і окисника, тобто флегматизуюча дія припинення горіння в цьому випадку теж неможлива.

Інгібітор дезактивує саме активні частинки, вільні радикали. Детальна топохімія цього процесу викликає дискусію. Положення про розклад інгібатору в зоні горіння з утворенням в свою чергу вільних радикалів, які вибірково реагують з вільними радикалами горіння, - викликає обґрунтовані заперечення. І активних частинок горіння і фрагментів гомолітичного розкладу інгібатору кожної миті виникає одна-дві на мільярди цілих молекул. Вірогідність їх зустрічі в середовищі мільярдів цілих молекул окисника і молекул парів горючих речовин практично дорівнює нулю. Положення про адсорбцію і концентрування активних

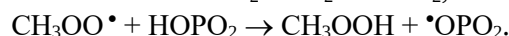
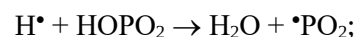
частинок на поверхні інгібатору із взаємною дезактивацією їх – теж доказів не має. Вилонити за мить дві частинки з мільярдів цілих молекул нездатна ніяка селективність.

Більш вірогідними є погляди, що панують в суміжній галузі, хімії високомолекулярних сполук. Дію інгібаторів полімеризації (гідрокінонів і ін.) пояснюють не взаємодією активних частинок між собою, а їх реакцією з цілими молекулами інгібатору, яких в системі не одна-дві на мільярд цілих молекул, а два-три відсотка від об'єму. Відриваючи від молекули інгібатору атом або групу атомів з неспареним електроном активна частинка перетворюється у стабільну молекулу. В молекулі ж інгібатору неспарений електрон з'являється.

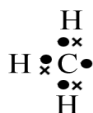
На перший погляд, нічого не змінилося, і ланцюгова реакція перерватися не повинна. Але різниця полягає у тому, що, на відміну від невеликих за розмірами активних частинок горіння з малою загальною кількістю електронів, значні за розмірами молекули інгібатору мають на зовнішніх орбітах атомів значно більшу кількість електронних пар, які мають змогу обмінюватися орбіталами всередині молекули. Згідно з теорією резонансу вільний електрон тут «делокалізується», він має можливість мігрувати всередині молекули. Утворений з молекули інгібатору радикал існує у вільному вигляді значно довший час, навіть цілі секунди. За цей час система встигає охолотитися і нові активні частинки не утворюються. Коли невеликий вільний радикал зустрічається з молекулою інгібатору, він приєднується до цієї молекули, утворюючи комплекс:



або відриває від неї атом чи групу атомів:



В обох випадках у новому радикалі вільний електрон має для делокалізації значно кращі умови. Якщо у радикалі з гідрогену (H) електрон взагалі тільки один, а у радикалі з метану на зовнішніх орбітах атомів в сумі лише 7 електронів, 6 з яких знаходяться на стабільних орбіталах:



то при інгібуванні горіння, наприклад, солями фосфорної кислоти, на трьох енергетичних рівнях утворених нових радикалів, крім неспареного електрону, розташовані ще 7 пар електронів. І кожен таку пару один неспарений електрон має змогу тимчасово роз'єднати, не виходячи за межі молекули і без обміну енергією з оточуючим середовищем.

Таким чином, аналіз фізико-хімічного механізму припинення горіння інгібуючими засобами доводить, що для забезпечення ефективності застосування порошкових засобів їх не треба обов'язково розкладати, достатньо просто забезпечити достатньо рівномірний розподіл засобу в об'ємі зони горіння.

Ефективність дії засобу в першу чергу залежить від його типу і складу. Вогнегасною компонентою в засобах на основі високопористих носіїв, іммобілізованих вогнегасними солями, є фосфорнокислі солі амонію, амонійфосфат та діамонійфосфат.

Амонійфосфат розкладається на метафосфорну кислоту, аміак та воду при температурі 250°C:



Діамонійфосфат менш стійкий. Вже при температурі 155°C, одночасно з плавленням, він розкладається на амонійфосфат та аміак. Інгібуючими властивостями володіють всі фосфоровмісні сполуки, і нерозкладені солі, і продукти їх розкладу. Для припинення горіння інгібітор повинен контактувати безпосередньо з активними частинками горіння, тобто знаходитись в їх зоні. Отже, незалежно від того, десорбується вогнегасна сіль з пор носія нерозкладеною, чи спочатку розкладається, а десорбуються її фрагменти, для впливу на горіння або тління сіль та продукти її розкладу повинні вийти з порожнин назовні. Таким чином, механізм гасіння в даному випадку включає обидва

процеси: фізичний (десорбцію) та один (взаємодію інгібітору чи його фрагментів з активними частинками горіння) або два (розклад солі і потім взаємодію інгібітору чи його фрагментів з активними частинками горіння) хімічні. Хімічні процеси проходять з великими швидкостями, десорбція ж вимагає попереднього прогріву носія, який тепло проводить погано. Отже, ефективність застосування такого вогнегасного засобу на пряму залежить від швидкості і повноти десорбції вогнегасних солей або їх фрагментів з пор носія. В свою чергу, ця швидкість залежить від марки носія та умов десорбції, і може бути визначеною за динамікою втрати маси зразка при умовах, близьких до тих, що складаються при виникненні пожежі на торфовищі. .

Для досліджень було обрано спучений вермікуліт виробництва ТОВ «Укрвермікуліт» двох марок: FINE UE та FINE ZU, які відрізняються технологією спучування, і, як результат, кількістю та розмірами відкритих пор. Дослідження проводилися при температурах 200, 400, 600 та 800°C. Як було визначено раніше [12], час гасіння полум'я таким засобом складав 8-15 хвилин, в залежності від складу засобу. Тому в цьому дослідженні часом витримки при кожній температурі було обрано 10 хвилин. В промисловості спучений вермікуліт виготовляють з природного вермікуліту при температурі близько 1000°C, і теоретично до температури у 800°C масу він втрачати не повинен. Але під час зберігання і транспортування цей пористий матеріал адсорбує пил та вологу, які при визначенні втрати маси можуть стати джерелом похибок. Тому одночасно проводилися «холості» визначення, нагріванням в тотожних умовах зразків неіммобілізованого носія. Отримані результати, наведені в таблицях 1 та 2, і були використані як поправки при розрахунку втрати маси вогнегасної солі під час проведення досліджень з десорбції таких солей (таблиці 3-6).

Таблиця 1

Втрата маси зразків при нагріванні зразків спученого вермікулиту марки FINE ZU

№ з/п	Температура, °C	Маса зразка, г	Втрата маси		
			г	%	Середня, %
1	2	3	4	5	6
1	200	6,654	0,293	4,4	4,6
2	200	7,174	0,344	4,8	
3	400	6,654	0,326	4,9	5,1
4	400	7,174	0,373	5,2	
5	600	6,654	0,372	5,6	5,6
6	600	7,174	0,402	5,6	
7	800	6,654	0,419	6,3	6,5
8	800	7,174	0,473	6,6	

Таблиця 2

Втрата маси при нагріванні зразків спученого вермікулиту марки FINE UE при нагріванні

№ з/п	Температура, °C	Маса зразка, г	Втрата маси		
			г	%	Середня, %
1	2	3	4	5	6
1	200	10,548	0,148	1,4	1,6
2	200	8,452	0,144	1,7	
3	400	10,548	0,200	1,9	2,0
4	400	8,452	0,177	2,1	
5	600	10,548	0,232	2,2	2,3
6	600	8,452	0,211	2,5	
7	800	10,548	0,253	2,4	2,5
8	800	8,452	0,220	2,6	

Таблиця 3

Втрата маси при нагріванні зразків спученого вермікулиту марки FINE ZU, іммобілізованого амонійфосфатом (0,42 г/г)

№ з/п	Температура, °C	Маса, г		Втрата маси, г			% втрати маси солі	
		зразка	солі	Загальна	Поправка	Солі	в досліді	середній
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	200	10,933	4,591	0,668	0,503	0,165	3,6	3,7
2	200	8,489	3,565	0,525	0,390	0,135	3,8	
3	400	10,933	4,591	2,156	0,558	1,598	34,8	35,0
4	400	8,489	3,565	1,749	0,498	1,251	35,1	
5	600	10,933	4,591	4,005	0,612	3,393	73,9	74,2
6	600	8,489	3,565	3,203	0,547	2,656	74,5	
7	800	10,933	4,591	4,334	0,711	3,623	78,9	79,3
8	800	8,489	3,565	3,466	0,635	2,831	79,4	

Таблиця 4

Втрата маси при нагріванні зразків спученого вермікуліту марки FINE ZU, іммобілізованого діамонійфосфатом (0,42 г/г)

№ з/п	Температура, °C	Маса, г		Втрата маси, г			% втрати маси солі	
		зразка	солі	Загальна	Поправка	Солі	в досліді	середній
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	200	8,393	3,525	0,545	0,386	0,159	4,5	4,7
2	200	5,698	2,393	0,377	0,262	0,115	4,8	
3	400	8,393	3,525	2,113	0,428	1,685	47,8	48,2
4	400	5,698	2,393	1,454	0,297	1,157	48,3	
5	600	8,393	3,525	3,216	0,470	2,746	77,9	78,4
6	600	5,698	2,393	2,209	0,326	1,883	78,6	
7	800	8,393	3,525	3,694	0,546	3,148	89,3	89,6
8	800	5,698	2,393	2,529	0,378	2,151	89,8	

Таблиця 5

Втрата маси при нагріванні зразків спученого вермікуліту марки FINE UE, іммобілізованого амонійфосфатом (0,44 г/г)

№ з/п	Темпера-тура, °C	Маса, г		Втрата маси, г			% втрати маси солі	
		зразка	солі	Загальна	Поправка	Солі	в досліді	середній
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	200	7,334	3,227	0,246	0,117	0,129	4,0	4,2
2	200	6,889	3,031	0,507	0,110	0,130	4,3	
3	400	7,334	3,227	1,506	0,147	1,359	42,1	42,3
4	400	6,889	3,031	1,426	0,138	1,288	42,5	
5	600	7,334	3,227	2,441	0,169	2,272	70,4	70,6
6	600	6,889	3,031	2,304	0,158	2,146	70,8	
7	800	7,334	3,227	2,568	0,183	2,385	73,9	74,3
8	800	6,889	3,031	2,430	0,172	2,255	74,4	

Таблиця 6

Втрата маси при нагріванні зразків спученого вермікуліту марки FINE UE, іммобілізованого діамонійфосфатом (0,44 г/г)

№ з/п	Темпера-тура, °C	Маса, г		Втрата маси, г			% втрати маси солі	
		зразка	солі	Загальна	Поправка	Солі	в досліді	середній
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	200	7,583	3,337	0,294	0,121	0,173	5,2	5,4
2	200	8,344	3,671	0,335	0,133	0,202	5,5	
3	400	7,583	3,337	1,797	0,152	1,665	49,9	50,1
4	400	8,344	3,671	1,998	0,167	1,831	50,3	
5	600	7,583	3,337	2,844	0,174	2,770	83,0	83,2
6	600	8,344	3,671	3,253	0,192	3,061	83,4	
7	800	7,583	3,337	3,233	0,190	3,043	91,2	91,4
8	800	8,344	3,671	3,567	0,208	3,359	91,5	

Як впливає з даних, наведених в таблицях 1 - 6, спучений вермікуліт при нагріванні до температури 800°C за 10 хвилин втрачає від 1,6 до 6,5 % маси (в

залежності від марки і партії), тобто виділяє пил та вологу, адсорбовані ним під час зберігання та транспортування. Вермікуліт, іммобілізований амонієвими солями

фосфорної кислоти, до температури 200°C - 300°C в основному теж десорбує пил та вологу. Інтенсивне виділення амонію і діамонійфосфатів та продуктів їх розкладу починається при температурі в 400-500°C. При цьому помітної різниці в швидкості вивільнення вогнегасної компоненти засобом на основі FINE UE і засобом на основі FINE ZU не помічено. Що ж стосується солей амонію, то діамонійфосфат (або фрагменти його розкладу) при всіх температурах і у випадку обох носіїв десорбуються інтенсивніше, ніж амонійфосфат. До температури 800°C засіб з діамонійфосфатом здатний виділити в зону горіння близько 90% наявного в ньому інгібітору.

Пожежі на торфовищах починаються за примусовим фізико-хімічним механізмом, тобто в перші хвилини вони займають невелику площу, але відразу досягають температур у 800-900°C. Швидкість поширення цієї пожежі невелика, 150-200 м за годину. Отже, за 10-12 хвилин, необхідних для прогріву носія і виходу з його пор вогнегасних компонентів, джерело полум'я буде мати умовний радіус 15-20 м, тобто з великою часткою вірогідності знаходиться у межах досяжності десорбованих з носія дрібнодисперсних частинок вогнегасних солей або фрагментів їх розкладу. Цю вірогідність треба збільшувати. Отже, задля підвищення надійності і ефективності дії цього засобу, подальші дослідження мають бути спрямовані на зменшення часу, необхідного для вивільнення діючої компоненти з пор носія з тим, щоб вивільнення інгібітору починалося протягом часу, за який пожежа не встигне поширитися на значну площу.

Обговорення результатів.

1. Більшість існуючих засобів пожежогасіння для запобігання пожежі на

торфовищах непридатні або мало ефективні. Оптимальними можуть бути засоби на основі спученого вермікуліту, іммобілізованого амонієвими солями фосфорної кислоти.

2. Фізико-хімічний механізм інгібування горіння такими засобами складається з двох стадій: фізичної десорбції вогнегасних компонентів з пор носія і хімічної взаємодії цих компонентів з вільними радикалами - активними частинками горіння, результатом якої є утворення нового вільного радикалу із значно меншою активністю.

3. Стадією, яка в даному випадку лімітує процес припинення горіння є фізична стадія; десорбція, яка вимагає попереднього прогріву мінерального носія.

4. При прогріві повнота десорбції амонієвих солей фосфорної кислоти від типу спученого вермікуліту практично не залежить.

5. При однакових температурах діамонійфосфат вивільнює інгібітори горіння з пор носія з більшою повнотою, ніж амонійфосфат.

6. Подальші дослідження повинні бути спрямовані на скорочення часу прогріву носія, що може бути досягнуто заміною спученого вермікуліту іншим високопористим носієм мінерального або органічного походження.

Висновок.

У цій роботі проведено аналіз фізико-хімічного механізму придушення полум'я та тління на торфовищах засобами на основі високопористого мінерального носія (спученого вермікуліту), іммобілізованого вогнегасними солями (амонієвими солями фосфорної кислоти) і визначено залежність повноти виділення інгібітору з пор носія від їх складу.

Список літератури

1. Катерина Борисенко. Торф'яники, чому вони горять і їх справжня цінність. <https://life.Pravda.com.ua/columns/2020/04/17/240641/>.
2. Мігаленко К. І., Слагін Г. І., Ленартович Є. С. Дослідження продуктів згорання зразків торфу Ірдинського родовища Черкаської області. Вісник Черкаського державного технологічного університету, № 2, 2008. С.134 – 137.
3. І.О.Несен, Г.І.Слагін, М.А.Куценко, О.С.Алексєєва, О.М.Нуязін, А.Г.Алексєєв,

В.К.Словінський. Оцінка кількості шкідливих речовин в продуктах згорання при пожежі на торфовищах, та екологічних втрат внаслідок такої пожежі. Colloquium-journal №4 (163), 2023, Część 1, С. 52-57, (Warszawa, Polska)

4. «Про затвердження Методики оцінки збитків від наслідків надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру». Постанова Кабінету Міністрів України від 15 лютого 2002 року № 175.

5. «Про затвердження Порядку встановлення нормативів збору за забруднення

навколишнього природного середовища і стягнення цього збору. Постанова кабінету міністрів України від 1 березня 1999 р. N 303.

6. Спосіб обмеження розповсюдження пожеж на торф'яниках Патент України UA № 135418 МПК A62C 2/06, публ. 25.06.2019, бюл. № 12

7. Спосіб профілактики пожежонебезпечної площі торф'яного родовища Патент України UA № 104989 МПК A62C 2/08, публ. 25.02.2016, бюл. 4.

8. Кирилів Я. Б., Ковалишин В. В., Сукач Р. Ю. Пожежна небезпека торф'яників торфорозробок та методи і засоби підвищення ефективності їх гасіння. Надзвичайні ситуації: безпека та захист: Матеріали IX Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю. – Черкаси: ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України.

9. Спосіб запобігання поширення пожежі на торфовищі Патент України UA № 153448 МПК A62C 3/02, публ. 05.07.2023, бюл. № 27.

References

1. Borysenko, K. (2020). Torfianyky, chomu vony horiat i yikh spravzhnia tsinnist [Peatlands: Why they burn and their true value]. *Ukrainska Pravda*. Life. <https://life.pravda.com.ua/columns/2020/04/17/240641/> (in Ukrainian).

2. Mihalenko, K. I., Yelagin, H. I., & Lenartovych, Ye. S. (2008). Doslidzhennia produktiv zghorannia zrazkiv torfu Irdynskoho rodovyshcha Cherkaskoi oblasti [Study of combustion products of peat samples from the Irdyn deposit of Cherkasy region]. *Visnyk Cherkaskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu*, (2), 134–137. (in Ukrainian).

3. Nesen, I. O., Yelagin, H. I., Kutsenko, M. A., Aleksieieva, O. S., Nuianzin, O. M., Aliksieiev, A. H., & Slovinskyi, V. K. (2023). Otsinka kilkosti shkidlyvykh rechovyi v produktakh zghorannia pry pozhezhi na torfovyyshchakh ta ekolohichnykh vtrat vnaslidok takoi pozhezhi [Assessment of the amount of harmful substances in combustion products during

peatland fires and environmental losses as a result of such fire]. *Colloquium-journal*, 4(163), Part 1, 52–57. Warszawa, Poland. (in Ukrainian).

4. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2002). Pro zatverdzhennia Metodyky otsinky zbytkiv vid naslidkiv nadzvychainykh sytuatsii tekhnohennoho i pryrodnoho kharakteru [On approval of the Methodology for assessing losses from the consequences of man-made and natural emergencies]. Resolution No. 175, February 15, 2002. (in Ukrainian).

5. Cabinet of Ministers of Ukraine. (1999). Pro zatverdzhennia Poriadku vstanovlennia normatyviv zboru za zabrudnennia navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha i stiahnennia tsoho zboru [On approval of the Procedure for establishing standards for environmental pollution charges and their collection]. Resolution No. 303, March 1, 1999. (in Ukrainian).

6. Patent UA No. 135418. (2019). Sposib obmezhenia rozpovsiudzhennia pozhezh na torfianyky [Method of limiting the spread of fires in peatlands]. IPC A62C 2/06. Published 25.06.2019, Bulletin 12. (in Ukrainian).

7. Patent UA No. 104989. (2016). Sposib profilaktyky pozhezhonebezpechnoi ploshchi torfianoho rodovyscha [Method of preventing fire-hazardous area of peat deposit]. IPC A62C 2/08. Published 25.02.2016, Bulletin 4. (in Ukrainian).

8. Kyryliv, Ya. B., Kovalyshyn, V. V., & Sukach, R. Yu. (n.d.). Pozhezhna nebezpeka torfianykyv torforozrobok ta metody i zasoby pidvyshchennia efektyvnosti yikh hasinnia [Fire hazard of peat extraction sites and methods and means of increasing the effectiveness of their extinguishing]. In *Nadzvychaini sytuatsii: bezpeka ta zakhyst* (Proceedings of the IX All-Ukrainian scientific-practical conference with international participation). Cherkasy: ChIPB im. Heroiv Chornobylia, NUTSZ Ukrainy. (in Ukrainian).

9. Patent UA No. 153448. (2023). Sposib zapobihannia poshyrennia pozhezhi na torfovyyshchi [Method of preventing fire spread on peatland]. IPC A62C 3/02. Published 05.07.2023, Bulletin 27. (in Ukrainian).

Слагін Георгій Іванович - кандидат хімічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник науково-дослідної лабораторії пожежної та техногенної безпеки навчально-наукового інституту пожежної безпеки, Національний університет цивільного захисту України (вул. Онопрієнка, 8, Черкаси, 18034, Україна)

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2577-6430>

E-mail: GYelagin@ukr.net

Кришталь Дмитро Олександрович – кандидат наук з державного управління, старший науковий співробітник науково-дослідної лабораторії пожежної та техногенної безпеки навчально-наукового інституту пожежної та техногенної безпеки, Національний університет цивільного захисту України (вул. Онопрієнка, 8, Черкаси, 18034, Україна)

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3254-4574>

E-mail: kryshthal_dmytro@nuczu.edu.ua

Алексєєв Анатолій Глібович - кандидат хімічних наук, доцент, науковий співробітник науково-дослідної лабораторії з дослідження проблем управління у сфері цивільного захисту навчально-наукового інституту цивільного захисту, Національний університет цивільного захисту України (вул. Онопрієнка, 8, Черкаси, 18034, Україна)

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4114-5807>

E-mail: agalex@ukr.net

Гавриленко Наталія Миколаївна - науковий співробітник науково-дослідної лабораторії пожежної та техногенної безпеки навчально-наукового інституту пожежної безпеки, Національний університет цивільного захисту України (вул. Онопрієнка, 8, Черкаси, 18034, Україна)

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-1681-7360>

E-mail: gavrnn@ukr.net

Куценко Марія Анатоліївна - кандидат економічних наук, доцент, докторант, Національний університет цивільного захисту України (вул. Онопрієнка, 8, Черкаси, 18034, Україна)

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6879-9187>

E-mail: kutsenko_maria@ukr.net

STUDY OF THE EFFECTIVENESS OF FIRE-EXTINGUISHING ACTION OF MEANS FOR PREVENTING THE SPREAD OF FIRES IN PEATLANDS

Purpose. In order to improve the effectiveness of preventing the spread of fires in peatlands, means based on highly porous mineral carriers, in particular expanded vermiculite immobilized with fire-extinguishing salts, were studied. Special attention was given to the analysis of the physico-chemical mechanism of their action, which includes a physical stage (release of the inhibitor from the pores of the carrier) and a chemical stage (interaction of the inhibitor with active combustion particles).

Methodology. To determine the influence of the composition of the means on the mechanism of fire suppression, a topochemical analysis of the interaction of the inhibitor with radicals was carried out, and the dependence of the completeness of its release from the pores of the carrier on the grade of expanded vermiculite and the type of fire-extinguishing salt (ammonium phosphate, diammonium phosphate) was studied under temperatures characteristic of peat combustion conditions.

Results. It was established that explanations of the mechanism of deactivation of active combustion particles through their adsorption on the surface of the inhibitor or homolytic decomposition of molecules are insufficiently substantiated. The most convincing hypothesis is the interaction of active particles with whole inhibitor molecules, resulting in the formation of a complex that delocalizes the free valence and significantly reduces the activity of radicals. It was proven that the completeness of inhibitor release hardly depends on the grade of expanded vermiculite; however, diammonium phosphate showed better results.

Scientific novelty. The understanding of the physico-chemical mechanism of action of fire-extinguishing means based on highly porous mineral carriers has been improved. The delocalization mechanism of reducing the activity of free radicals during combustion was substantiated, which provides a more precise explanation of the inhibiting effect.

Practical value. The research results confirm the effectiveness of using diammonium phosphate as a combustion inhibitor and outline promising directions for further studies, particularly the search for more suitable highly porous carriers to reduce the induction period of the agent's action.

Keywords: peatlands, peat combustion, combustion inhibitors, fire-extinguishing means, highly porous carriers, immobilization, expanded vermiculite.

Georgiy Yelagin - Candidate of Chemical sciences, senior staff scientist, leading research worker 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)

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2577-6430>

E-mail: GYelagin@ukr.net

Dmytro Kryshthal – Candidate of Sciences in Public Administration, Senior Research Scientist Laboratory of Fire and Technogenic Safety of Educational and Scientific Institute of Fire and Technogenic Safety of National University of Civil Protection of Ukraine (8 Onopriienko St., Cherkasy, 18034, Ukraine)

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3254-4574>

E-mail: kryshthal_dmytro@nuczu.edu.ua

Alekseev Anatoly - Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Research worker of the Research Laboratory for the Study of Management Problems in the Field of Civil Defense of the Educational and Scientific

Institute of Civil Defense of National University of Civil Protection of Ukraine (8 Onopriienko St., Cherkasy, 18034, Ukraine)

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4114-5807>

E-mail: agalex@ukr.net

Nataliia Havrylenko – Research worker of the Research Laboratory of Fire and Technogenic Safety of Educational and Scientific Institute of Fire Safety of the National University of Civil Protection of Ukraine (8 Onopriyenko St., Cherkasy, 18034, Ukraine)

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-1681-7360>

E-mail: gavrnn@ukr.net

Maria Kutsenko - Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Doctoral Student at the National University of Civil Defense of Ukraine (8 Onopriyenko St., Cherkasy, 18034, Ukraine)

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6879-9187>

E-mail: kutsenko_maria@ukr.net

М.Б. Клименко

ВИКОРИСТАННЯ ТЕРМІНАЛІВ ЗБОРУ ДАНИХ ЯК ІНСТРУМЕНТУ НАВЧАННЯ ТА ПЕРЕВІРКИ ЗНАЬ З ОХОРОНИ ПРАЦІ НА СКЛАДСЬКИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

Мета. Метою статті є обґрунтування та аналіз можливостей використання терміналів збору даних як інструменту навчання та перевірки знань з охорони праці на складських підприємствах з метою підвищення ефективності засвоєння вимог безпеки праці, оперативності контролю знань персоналу та зниження виробничих ризиків.

Методика. Методологічну основу дослідження становить комплекс загальнонаукових і спеціальних методів дослідження. У процесі дослідження використано метод аналізу та синтезу, для опрацювання нормативно-правових актів, наукових публікацій і методичних матеріалів у сфері охорони праці, а також для узагальнення підходів до навчання і перевірки знань персоналу на підприємствах складської логістики. Системний підхід застосовано для розгляду системи навчання з охорони праці як складової загальної системи управління охороною праці підприємства та визначення місця терміналів збору даних у цій системі. Метод порівняльного аналізу дозволив зіставити традиційні форми навчання і перевірки знань з охорони праці з цифровими підходами, що ґрунтуються на використанні переносних терміналів збору даних. Для оцінки прикладної ефективності запропонованого підходу застосовано емпіричні методи, зокрема спостереження за виробничими процесами на складському підприємстві, аналіз результатів проходження навчання та перевірки знань персоналу, а також узагальнення практичного досвіду використання терміналів збору даних у щоденній роботі працівників. Моделювання використано для формування алгоритму навчання та контролю знань з охорони праці з урахуванням ризик-орієнтованого підходу та специфіки складської логістики.

Результати. Результати апробації запропонованої моделі на одному з підприємств логістичної галузі засвідчили її високу ефективність у підвищенні рівня засвоєння вимог охорони праці та оперативності перевірки знань персоналу. Використання терміналів збору даних дозволило інтегрувати навчальні та контрольні функції безпосередньо у виробничі процеси, що сприяло зменшенню формального підходу до навчання та підвищенню відповідальності працівників за дотримання вимог безпеки праці.

Новизна. Полягає в обґрунтуванні доцільності використання терміналів збору даних як інструменту навчання та перевірки знань з охорони праці персоналу складських підприємств, а також у розробленні підходу до їх інтеграції в систему управління охороною праці з урахуванням ризик-орієнтованого підходу.

Практична значимість результатів дослідження полягає у можливості використання запропонованого підходу до застосування терміналів збору даних у системі навчання та перевірки знань з охорони праці. Запровадження такого підходу дозволяє інтегрувати навчальні та контрольні функції безпосередньо у виробничі процеси без відриву працівників від виконання основних операцій. Результати дослідження можуть бути використані службами охорони праці, керівниками підприємств логістичного комплексу та фахівцями з управління персоналом для удосконалення організації навчання з охорони праці, а також для оперативної перевірки знань працівників із фіксацією результатів у цифровому форматі. Практичне впровадження терміналів збору даних сприяє підвищенню рівня засвоєння вимог безпеки праці, своєчасному інформуванню персоналу про потенційні небезпеки та зниженню виробничих ризиків у складській логістиці.

Ключові слова: безпека праці, цифровізація охорони праці, навчання та перевірка знань з охорони праці, термінал збору даних, складська логістика.

Вступ.

Сучасний етап розвитку виробничих підприємств характеризується активним впровадженням цифрових технологій, що суттєво трансформуює організацію праці, виробничі процеси та підходи до забезпечення безпеки працівників. Особливої актуальності ці процеси набувають у логістичній галузі, зокрема на складських підприємствах, де поєднання високої інтенсивності операцій, використання

розвантажувального обладнання, значних обсягів вантажообігу та динамічних умов праці зумовлює підвищений рівень виробничих ризиків. Одним із ключових елементів системи управління охороною праці є навчання та перевірка знань працівників з питань охорони праці. Традиційні форми навчання, що передбачають періодичні інструктажі, класичні аудиторні заняття та формалізовані перевірки знань, не завжди відповідають умовам сучасного виробництва та не

забезпечують достатнього рівня залученості персоналу до процесів безпеки. У складських умовах, де працівники постійно виконують різнопланові операції у змінному виробничому середовищі, виникає потреба в більш гнучких, оперативних і контекстно-орієнтованих підходах до навчання з охорони праці.

У той же час цифровізація виробничих процесів створює нові можливості для удосконалення системи навчання та контролю знань персоналу. На складських підприємствах широко застосовуються термінали збору даних як основний інструмент обліку, контролю та управління логістичними операціями. Їх постійна присутність у робочому процесі працівників зумовлює доцільність розгляду цих пристроїв не лише як виробничого засобу, а й як потенційного інструменту навчання. Аналіз наукових досліджень свідчить, що більшість публікацій зосереджена на питаннях цифровізації навчання, формування культури безпеки та впровадження електронних освітніх платформ у сфері охорони праці. Водночас недостатньо висвітленими залишаються можливості використання виробничих цифрових пристроїв для інтеграції навчальних і контрольних функцій безпосередньо у процес виконання трудових операцій. Це зумовлює наукову й практичну доцільність пошуку нових підходів до організації навчання з охорони праці з урахуванням специфіки складської логістики. У зв'язку з цим актуальним є дослідження можливостей використання терміналів збору даних як інструменту навчання та перевірки знань з охорони праці на складських підприємствах, що дозволяє поєднати виробничу діяльність із безперервним навчанням персоналу, підвищити ефективність засвоєння вимог безпеки праці та сприяти зниженню рівня виробничих ризиків.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

У наукових дослідженнях останніх років проблематика охорони праці все частіше розглядається у контексті цифровізації виробничих процесів, трансформації систем управління та формування сучасної культури безпеки. У працях вітчизняних авторів наголошується, що впровадження цифрових технологій

сприяє підвищенню ефективності управління охороною праці, зокрема через удосконалення інформаційного забезпечення, навчання персоналу та контролю дотримання вимог безпеки [1; 2]. Значний пласт досліджень присвячено питанням трансформації культури безпеки в умовах цифровізації, де безпека праці розглядається не лише як сукупність нормативних вимог, а як складова організаційної культури підприємства. Автори підкреслюють зростання ролі поведінкових чинників, усвідомленого ставлення працівників до ризиків та необхідність постійного навчання персоналу з використанням сучасних цифрових інструментів [3]. У цьому контексті цифрові технології розглядаються як засіб підвищення залученості працівників і формування сталих безпечних моделей поведінки.

Окрему групу наукових праць становлять дослідження, спрямовані на організаційно-методичні аспекти навчання та перевірки знань з охорони праці. У них аналізуються традиційні форми підготовки персоналу, порядок проведення інструктажів, навчання та перевірки знань, а також проблеми формального підходу до засвоєння вимог безпеки праці [5; 6]. Низка авторів звертає увагу на те, що класичні методи навчання не завжди відповідають умовам сучасного виробництва, зокрема в галузях з високою динамікою процесів і підвищеним рівнем професійних ризиків, до яких належить складська логістика [7]. У сучасних публікаціях також розглядаються можливості використання електронного навчання, цифрових платформ, дистанційних курсів та електронного тестування з охорони праці. Такі підходи оцінюються як перспективні з точки зору підвищення доступності навчального матеріалу та спрощення процедур контролю знань [2; 6; 8]. Водночас більшість досліджень зосереджена на навчанні, що відбувається поза межами безпосереднього виконання виробничих операцій, без тісного зв'язку з конкретними робочими процесами та поточними виробничими ризиками.

Аналіз наукових джерел свідчить, що питання використання виробничих цифрових пристроїв як інструментів навчання та перевірки знань з охорони праці залишається недостатньо висвітленим.

Зокрема, у наявних публікаціях не розглядається потенціал терміналів збору даних, які широко застосовуються на складських підприємствах, для реалізації навчальних і контрольних функцій у режимі реального часу. Недостатньо дослідженими залишаються також можливості поєднання виробничих операцій, мікронавчання та оперативної перевірки знань персоналу з урахуванням ризик-орієнтованого підходу до управління охороною праці. Таким чином, попри значну кількість наукових праць, присвячених цифровізації навчання, культурі безпеки та удосконаленню системи управління охороною праці, проблема використання терміналів збору даних як інструменту навчання та перевірки знань з охорони праці на складських підприємствах залишається недостатньо дослідженою.

Мета статті (постановка завдання).

Враховуючи вищезазначене, метою роботи є обґрунтування та аналіз можливостей використання терміналів збору даних як інструменту навчання та перевірки знань з охорони праці на складських підприємствах з метою підвищення ефективності засвоєння вимог безпеки праці, оперативності контролю знань персоналу та зниження виробничих ризиків.

Методи дослідження.

Методологічну основу дослідження становить комплекс загальнонаукових і спеціальних методів дослідження. У процесі дослідження використано метод аналізу та синтезу, для опрацювання нормативно-правових актів, наукових публікацій і методичних матеріалів у сфері охорони праці, а також для узагальнення підходів до навчання і перевірки знань персоналу на підприємствах складської логістики. Системний підхід застосовано для розгляду системи навчання з охорони праці як складової загальної системи управління охороною праці підприємства та визначення місця терміналів збору даних у цій системі. Метод порівняльного аналізу дозволив зіставити традиційні форми навчання і перевірки знань з охорони праці з цифровими підходами, що ґрунтуються на використанні переносних терміналів збору даних. Для оцінки прикладної ефективності запропонованого підходу застосовано емпіричні методи, зокрема спостереження за виробничими процесами на складському підприємстві, аналіз результатів

проходження навчання та перевірки знань персоналу, а також узагальнення практичного досвіду використання терміналів збору даних у щоденній роботі працівників. Моделювання використано для формування алгоритму навчання та контролю знань з охорони праці з урахуванням ризик-орієнтованого підходу та специфіки складської логістики.

Виклад основного матеріалу.

Навчання та перевірка знань з охорони праці є обов'язковою складовою системи управління охороною праці на підприємстві та регламентуються чинними нормативно-правовими актами. Нормативні вимоги передбачають навчання працівників, а також періодичну перевірку знань з фіксацією її результатів. Основною метою таких заходів є формування у працівників необхідних знань і навичок безпечного виконання робіт та запобігання виробничому травматизму. Разом із тим аналіз практики реалізації нормативних вимог свідчить, що традиційні форми навчання з охорони праці часто носять формалізований характер і не завжди забезпечують достатній рівень засвоєння матеріалу. Це особливо характерно для підприємств складської логістики, де працівники виконують різнопланові операції в умовах змінного виробничого середовища, а ризики пов'язані з рухом вантажів, використанням підйомно-транспортного обладнання та інтенсивною взаємодією персоналу. За таких умов виникає потреба в удосконаленні форм і методів навчання з урахуванням специфіки виробничих процесів.

У наукових дослідженнях останніх років цифровізація розглядається як один із ключових чинників підвищення ефективності управління охороною праці. Цифрові підходи дозволяють автоматизувати облік навчання, забезпечити доступність інформації, підвищити оперативність контролю та сприяти формуванню культури безпеки праці. Особливу увагу приділено використанню електронних навчальних платформ, дистанційних курсів та цифрових інструментів оцінювання знань. Водночас більшість цифрових рішень орієнтована на навчання, яке відбувається поза межами безпосереднього виконання виробничих операцій. Це обмежує можливості адаптації навчального процесу до конкретних умов

праці та актуальних виробничих ризиків. У цьому контексті перспективним є підхід, що передбачає використання виробничих цифрових пристроїв як засобу інтеграції навчання та контролю знань у реальні робочі процеси.

Запропонована методика удосконалення системи навчання з охорони праці ґрунтується на використанні терміналів збору даних, які вже застосовуються на складських підприємствах для виконання логістичних операцій. Постійна присутність цих пристроїв у робочому процесі створює передумови для їх використання як каналу донесення навчальної інформації та інструменту перевірки знань персоналу. Інтеграція терміналів збору даних у систему навчання передбачає відображення навчального контенту безпосередньо під час виконання робіт, з урахуванням конкретних операцій і виробничих умов. Такий підхід дозволяє поєднати навчальні та контрольні функції з основною діяльністю працівників, не порушуючи виробничий ритм. Ключовим елементом запропонованої методики є застосування принципів мікронавчання, що передбачає подання навчального матеріалу

у вигляді коротких, змістовно завершених інформаційних блоків. Мікронавчання орієнтоване на швидке засвоєння конкретних вимог безпеки, пов'язаних із виконанням певних операцій, та дозволяє уникнути перевантаження працівників інформацією. Використання терміналів збору даних забезпечує можливість оперативного доступу до таких навчальних блоків у потрібний момент, що сприяє підвищенню усвідомленості дій працівників і формуванню безпечної поведінки в реальних виробничих умовах.

Перевірка знань з охорони праці в межах запропонованої методики здійснюється за допомогою коротких тестових завдань або контрольних запитань, що відображаються на терміналах збору даних. Алгоритм перевірки передбачає фіксацію результатів у цифровому форматі з можливістю подальшого аналізу та використання для управлінських рішень. Такий підхід забезпечує оперативність контролю знань, зменшує формальний характер перевірок і дозволяє швидко виявляти прогалини у підготовці персоналу, що є важливим для запобігання виробничим ризикам.



Рис. 1. Приклади моделей терміналів збору даних, що застосовуються у складській логістиці

На рис. 1. наведено типові зразки терміналів збору даних, які використовуються у складській логістиці для виконання операцій обліку, комплектування та контролю переміщення вантажів. Такі пристрої можуть бути виконані у вигляді ручних терміналів і характеризуються постійною інтеграцією у виробничий процес, що створює передумови для їх використання не лише як логістичного інструменту, а й як

засобу навчання та перевірки знань з охорони праці персоналу.

Практична реалізація запропонованої моделі була здійснена на одному з підприємств складської логістики, де термінали збору даних використовуються для управління складськими операціями. У межах апробації реалізовано сценарії інформування працівників про вимоги безпеки перед початком виконання певних операцій, короткі нагадування щодо

використання засобів індивідуального захисту та оперативну перевірку знань після завершення навчальних блоків. Застосування таких сценаріїв дозволило інтегрувати навчання з охорони праці у щоденну діяльність персоналу без створення додаткових перерв у роботі. Результати практичної реалізації засвідчили, що використання терміналів збору даних як інструменту навчання та перевірки знань з охорони праці сприяє підвищенню рівня залученості працівників до процесів безпеки та зменшенню формального ставлення до навчання. Для персоналу це означає доступність навчальної інформації у зручний момент і чітке розуміння вимог безпеки в конкретних виробничих ситуаціях. Для роботодавця запропонований підхід забезпечує підвищення ефективності системи управління охороною праці, покращення контролю знань персоналу та створення передумов для зниження рівня виробничих ризиків і травматизму на складських підприємствах.

Обговорення результатів.

Отримані результати апробації запропонованої моделі використання терміналів збору даних у процесі навчання та перевірки знань з охорони праці підтверджують її практичну доцільність і ефективність для підприємств логістичної галузі. Встановлено, що інтеграція навчальних і контрольних функцій безпосередньо у виробничі процеси сприяє підвищенню рівня засвоєння працівниками вимог охорони праці та забезпечує оперативність перевірки знань без відриву персоналу від виконання основних трудових операцій. На відміну від традиційних форм навчання з охорони праці, які часто мають формалізований характер і обмежену прив'язаність до реальних виробничих умов, запропонований підхід дозволяє реалізувати принцип контекстно-орієнтованого навчання. Використання терміналів збору даних, що є звичним робочим інструментом для працівників складу, сприяє зменшенню психологічного бар'єру до навчання та підвищує рівень особистої відповідальності за дотримання вимог безпеки праці. Це узгоджується з положеннями сучасних досліджень, у яких наголошується на необхідності поєднання навчання з повсякденною професійною діяльністю та

формування усвідомленої безпечної поведінки персоналу.

Разом із тим, результати дослідження засвідчили наявність певних обмежень і слабких сторін запропонованого підходу. Насамперед до них належить висока вартість терміналів збору даних, що може ускладнювати впровадження моделі на малих або підприємствах із обмеженими фінансовими ресурсами. Окрім того, за відсутності належного регламентування існує ризик відволікання працівників від виконання виробничих операцій, що потенційно може створювати додаткові небезпеки, особливо в умовах інтенсивного руху техніки. Також слід враховувати, що ефективність використання терміналів збору даних як інструменту навчання значною мірою залежить від якості розробленого навчального контенту, рівня цифрової компетентності персоналу та інтеграції такого підходу у загальну систему управління охороною праці підприємства. Без чітко визначених процедур, обмежень щодо часу і умов використання навчальних функцій, а також відповідного контролю з боку служби охорони праці, потенційні переваги запропонованої моделі можуть бути нівельовані. Узагальнюючи результати, можна зазначити, що використання терміналів збору даних як інструменту навчання та перевірки знань з охорони праці є перспективним напрямом удосконалення системи управління безпекою праці на складських підприємствах. Водночас доцільність впровадження такого підходу потребує врахування економічних, організаційних і поведінкових чинників, а також подальших досліджень, спрямованих на оптимізацію моделей застосування цифрових виробничих пристроїв у сфері охорони праці.

Висновок.

У результаті проведеного дослідження обґрунтовано доцільність використання терміналів збору даних як інструменту навчання та перевірки знань з охорони праці на складських підприємствах. Показано, що інтеграція навчальних і контрольних функцій безпосередньо у виробничі процеси дозволяє підвищити рівень засвоєння працівниками вимог безпеки праці та забезпечити оперативність перевірки знань без відриву персоналу від виконання основних трудових операцій. Апробація запропонованої моделі

на одному з підприємств логістичної галузі підтвердила її ефективність у зменшенні формального підходу до навчання з охорони праці та підвищенні відповідальності працівників за дотримання вимог безпеки. Використання терміналів збору даних як звичного робочого інструменту створює умови для реалізації контекстно-орієнтованого та безперервного навчання, що відповідає сучасним підходам до формування культури безпеки праці.

Встановлено, що запропонований підхід має потенціал удосконалення системи управління охороною праці на складських підприємствах за рахунок поєднання навчання, контролю знань та управління виробничими ризиками в єдиному цифровому середовищі. Разом із тим

визначено низку обмежень, зокрема пов'язаних із вартістю терміналів збору даних, необхідністю регламентування умов їх використання та запобігання можливому відволіканню працівників від виконання виробничих операцій. З огляду на отримані результати використання терміналів збору даних як інструменту навчання та перевірки знань з охорони праці доцільно розглядати як перспективний напрям цифрової трансформації системи безпеки праці у логістичній галузі. Подальші дослідження доцільно спрямувати на розроблення рекомендацій щодо оптимізації навчального контенту, визначення критеріїв ефективності впровадження запропонованої моделі та адаптації підходу до підприємств різного масштабу й рівня технологічної оснащеності.

Список літератури

1. Крайнюк О. В., Буц Ю. В., Барбашин В. В., Діденко Н. В. Перспективи диджиталізації у сфері охорони праці // Комунальне господарство міст. 2020. Т. 6, вип. 159. С. 130–138. DOI: 10.33042/2522-1809-2020-6-159-130-138.

2. Кубатко О. В., Вороненко В.І., Дяденко О.В. Цифрові трансформації для безпеки персоналу підприємства в умовах надзвичайних ситуацій // Механізм регулювання економіки. 2024. № 2 (104). С. 46 – 53. DOI: <https://doi.org/10.32782/mer.2024.104.06>

3. Протасенко О. Ф., Михайлова Є.О. Трансформація культури безпеки в умовах цифровізації // Комунальне господарство міст. 2024. Т. 1, вип. 182. С. 223 – 228. DOI: 10.33042/2522-1809-2024-1-182-223-228

4. Денисюк О. Г., Панасюк А.В. Цифровізація гірничих підприємств в умовах розвитку індустрії 4.0 // Інвестиції: практика та досвід. 2023. №4. С. 64 – 71. DOI: 10.32702/2306-6814.2023.4.64

5. Пиріг Ю., Вітик Д., Гортостай Ю., Горностай О.Б. Цифровізація в охороні праці: сучасні інструменти, виклики та перспективи підвищення безпеки на робочому місці. Охорона праці: освіта і практика. Проблеми та перспективи розвитку охорони праці: 36. наук. праць V Всеукраїнської науково-практичної конференції викладачів та фахівців-практиків та XV Всеукраїнської науково-практичної конференції курсантів, студентів, аспірантів та ад'юнктів. – Львів: ЛДУБЖД, 2025. С.81-83

6. Євтушенко О.В., Сірик А.О., Потапова Т.О., Коков О.М. Перспективи цифровізації управління охороною праці у галузі освіти // Актуальні проблеми та інноваційні технології у сфері цивільного захисту та екологічної безпеки

для повоєнного відновлення України»: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, частина 2 (м. Київ, 28 - 30 травня 2024 р.). С. 36 – 38.

7. Літорович О. В. Особливості менеджменту персоналу підприємств в умовах диджиталізації// Економіка та суспільство. 2022. № 38. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-38-34>

8. Твердохлебова Н.Є., Семенов Є.О. Новий зміст навчання майбутніх фахівців з охорони праці в сучасних умовах // Науковий вісник Донецького національного технічного університету. 2024. № 1(12). С. 139–147. DOI: 10.31474/2415-7902-2024-1-12-139-148.

References

1. Krainiuk, O. V., Buts, Yu. V., Barbashyn, V. V., & Didenko, N. V. (2020). Prospects for digitalization in the field of occupational safety. *Komunalne hospodarstvo mist*, 6(159), 130–138. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2020-6-159-130-138> (in Ukrainian)

2. Kubatko, O. V., Voronenko, V. I., & Diadenko, O. V. (2024). Digital transformations for personnel safety of enterprises under emergency conditions. *Mekhanizm rehuliuivannia ekonomiky*, 2(104), 46–53. DOI: <https://doi.org/10.32782/mer.2024.104.06> (in Ukrainian)

3. Protasenko, O. F., & Mykhailova, Ye. O. (2024). Transformation of safety culture under digitalization conditions. *Komunalne hospodarstvo mist*, 1(182), 223–228. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2024-1-182-223-228> (in Ukrainian)

4. Denysiuk, O. H., & Panasiuk, A. V. (2023). Digitalization of mining enterprises in the context of Industry 4.0 development. *Investytsii: praktyka ta*

dosvid, 4, 64–71. <https://doi.org/10.32702/2306-6814.2023.4.64> (in Ukrainian)

5. Pyrih, Yu., Vityk, D., Hortostai, Yu., & Hornostai, O. B. (2025). Digitalization in occupational safety: Modern tools, challenges, and prospects for improving workplace safety. In Occupational safety: education and practice. Problems and prospects for the development of occupational safety (Proceedings of the V All-Ukrainian Scientific and Practical Conference of lecturers and practitioners and the XV All-Ukrainian Scientific and Practical Conference of cadets, students, postgraduate students and adjuncts, pp. 81–83). Lviv: Lviv State University of Life Safety. (in Ukrainian)

6. Yevtushenko, O. V., Siryk, A. O., Potapova, T. O., & Kokov, O. M. (2024). Prospects for digitalization of occupational safety management

in the education sector. In Current issues and innovative technologies in the field of civil protection and environmental safety for post-war recovery of Ukraine (International scientific and practical conference proceedings, Part 2, Kyiv, May 28–30, pp. 36–38). (in Ukrainian)

7. Litorovych, O. V. (2022). Features of personnel management of enterprises under digitalization conditions. *Ekonomika ta suspilstvo*, 38. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-38-34> (in Ukrainian)

8. Tverdokhliebova, N. Ye., & Semenov, Ye. O. (2024). New content of training future occupational safety specialists in modern conditions. *Naukovyi visnyk Donetskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu*, 1(12), 139–147. <https://doi.org/10.31474/2415-7902-2024-1-12-139-148> (in Ukrainian)

Клименко Михайло Борисович – асистент кафедри цивільної безпеки, Луцький національний технічний університет, (вул. Львівська, 75, Луцьк, Волинська область, 43018, Україна).

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9844-5328>

E-mail: klymenko_mike@ukr.net

USE OF DATA COLLECTION TERMINALS AS A TOOL FOR TRAINING AND TESTING KNOWLEDGE OF OCCUPATIONAL SAFETY IN WAREHOUSE ENTERPRISES

Purpose of the article is to justify and analyze the possibilities of using data collection terminals as a tool for training and testing knowledge of occupational safety at warehousing enterprises in order to improve the effectiveness of learning occupational safety requirements, the efficiency of monitoring staff knowledge, and reducing production risks.

Methodology. The methodological basis of the study is a set of general scientific and special research methods. In the course of the study, the method of analysis and synthesis was used to process regulatory and legal acts, scientific publications, and methodological materials in the field of occupational safety, as well as to generalize approaches to training and testing the knowledge of personnel at warehouse logistics enterprises. A systematic approach was used to consider the occupational safety training system as a component of the overall occupational safety management system of an enterprise and to determine the place of data collection terminals in this system. The comparative analysis method made it possible to compare traditional forms of training and testing of knowledge in occupational safety with digital approaches based on the use of portable data collection terminals. Empirical methods were used to assess the applied effectiveness of the proposed approach, in particular, observation of production processes at a warehouse enterprise, analysis of the results of training and testing of personnel knowledge, as well as generalization of practical experience in the use of data collection terminals in the daily work of employees. Modeling was used to develop an algorithm for training and testing knowledge of occupational safety, taking into account a risk-oriented approach and the specifics of warehouse logistics.

Results. The results of testing the proposed model at one of the logistics companies demonstrated its high efficiency in improving the level of occupational safety compliance and the speed of staff knowledge testing. The use of data collection terminals made it possible to integrate training and control functions directly into production processes, which helped to reduce the formal approach to training and increase employee responsibility for compliance with occupational safety requirements.

Scientific novelty is to justify the use of data collection terminals as a tool for training and testing the occupational safety knowledge of warehouse personnel, as well as to develop an approach to their integration into the occupational safety management system, taking into account a risk-based approach.

Practical significance. The results of the study lie in the possibility of using the proposed approach to the application of data collection terminals in the system of training and testing knowledge of occupational safety. The introduction of such an approach allows the integration of training and control functions directly into production processes without distracting employees from performing their main operations. The results of the study can be used by occupational safety services, managers of logistics companies, and human resources specialists to improve the organization of occupational safety training, as well as for operational testing of employees' knowledge with the results recorded in digital format. The practical implementation of data collection

terminals contributes to improving the level of compliance with occupational safety requirements, timely informing personnel about potential hazards, and reducing production risks in warehouse logistics.

Keywords: *occupational safety, digitization of occupational safety, training and testing of occupational safety knowledge, data collection terminal, warehouse logistics.*

Klymenko Mykhailo – Assistant, Department of Civil Security, Lutsk National Technical University (Lvivska Street, 75, Lutsk, Volyn Oblast, 43018, Ukraine).

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9844-5328>

E-mail: klymenko_mike@ukr.net

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РУХУ ПОВІТРЯ У ВИРОБЛЕНИХ ПРОСТОРАХ

Мета. На основі шахтних експериментальних спостережень розкрити закономірності руху повітря у таких що уцілюються породах виробленого простору виїмкової ділянки.

Метод дослідження – шахтні інструментальні вимірювання розподілення повітря у гірничих виробках що розташовані у виробленому просторі поблизу очисного вибою.

Результати. Надано описання гірничо-геологічних і гірничо-технічних умов підтримання вентиляційних виробок глибоких шахт Донбасу. Наведено показники повітряних зйомок в цих гірничих виробках. Проведено аналіз вітоків повітря до виробленого простору виїмкової ділянки.

Новизна. На основі шахтних спостережень підтверджено, що обвалені породи покрівлі пласта є середовищем непроникним для повітря, що рухається за рахунок загальношахтної депресії. Це відноситься однаковою мірою до уцілюваних і неуцілюваних ділянок підробленого масиву на рівні ґрунту пласта. З чого можна зробити висновок про неможливість виникнення там осередків самонагрівання вугілля через відсутність обміну повітря. Процес осідання підробленого масиву над штучними спорудами призводить до виникнення порожнин – колекторів повітря. Тому існує загроза самонагрівання залишеного поблизу штучних споруд вугілля.

Практична значимість. Наведені результати досліджень доповнюють сучасні уявлення щодо руху повітряних потоків у виробленому просторі видобувної ділянки і мають суттєве значення для забезпечення надійності, безпечності ведення гірничих робіт на великих глибинах та профілактики ендегенних пожеж.

Ключові слова: вироблений простір виїмкової ділянки, рух повітря у породах які уцілюються, герметичність середовища у підшви пласту, пожежонебезпечна зона, втіки повітря у виробленому просторі.

Вступ.

Антропогенна діяльність завжди Рух повітря у гірничих виробках та вироблених просторах є об'єктом інтенсивних досліджень протягом останніх десятиліть. При розробці, наприклад, заходів запобігання ендегенним пожежам у гірничих виробках слід враховувати характер руху повітря у виробленому просторі видобувної ділянки. Значний внесок у розкриття цієї проблеми зробили багато вітчизняних та іноземних дослідників. Однак, цей процес, що відноситься до класу турбулентних просторових течій через великокускувате пористе середовище, виявився винятково складним. В даний час поширена точка зору про те, що породи покрівлі, що обрушилися, розробляється пласта являють собою сукупність хаотично розташованих блоків і порожнин, що утворюють пористе середовище [1], через яку здійснюється масоперенос. У цьому вважається, що пористість обрушених порід становить 30...50 % і більше, що уможливорює переміщення повітря у виробленому просторі лише на рівні підшви відпрацьованого пласта при депресії повітря дільничної вентиляційної мережі 100...200 даПа. Більшість експериментів, що дозволили обґрунтувати таку точку зору, було виконано

при розробці потужних пологих та крутопадаючих пластів у Сибіру та Казахстані. Тому практично прийнятні аналітичні рішення аеродинаміки вироблених просторів відсутні, а інженерні розрахунки таких течій не проводять. Цей погляд залишився у діючих нормативних документах, пов'язаних, наприклад, з профілактикою і гасінням ендегенних пожеж на шахтах України [2].

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Огляд і узагальнення сучасних досліджень показав, що найбільш складним залишається питання визначення газодинамічних характеристик деформованих вугільних пластів і породних масивів. Більшість сучасних експериментальних та теоретичних досліджень спрямовано на удосконалення знань, що стосуються газообміну між потоками що спрямовані по очисної виробці та такому що безпосередньо примикає до неї виробленому простору [3,4]. Надано оцінку впливу схем провітрювання очисних дільниць та режимів роботи вентиляційних установок головного та місцевого провітрювання [5,6]. Розглянуто вплив гірничо-геологічних та гірничо-технічних умов розробки вугільних пластів на витоки повітря і метану у виробленому

просторі [7]. Узагальнюючи можна стверджувати що домінує традиційний погляд на характер руху газових потоків у виробленому просторі, в якому розглядають середовище на рівні підшви пласту як проникливу товщу в якій мігрують певні струмені повітря і метану.

Однак, при виконанні в ДонНТУ досліджень, в яких автор приймав безпосередню участь, пов'язаних із забезпеченням стійкості вироблених виробів, що проводяться у виробленому просторі [8,9], встановлено, що підроблений масив порід покрівлі пласта є впорядкованим середовищем, що успадковує текстурну будову незайманого гірського масиву. Лише у шарі тонкодроблених порід, що утворюється при обрушенні безпосередньої покрівлі, розміром не перевищує потужності пласта, частинки розташовані хаотично. Експериментально встановлена їх консолідація під дією невеликого навантаження порід покрівлі, що налягають, процес описують круто спадаючими компресійними кривими [10]. Це дозволило зробити гіпотетичне припущення про відносну герметичність виробленого простору на рівні ґрунту пласта, що було підтверджено при ліквідації пожеж у виробленому просторі шляхом ізоляції їх породами, що обрушуються при форсованому відході лави від вогнища горіння [11,12]. Однак, до теперішнього часу залишається дискусійним питання про характер проникності неущільнених порід, в області лави, що простягається позаду, на відстань рівну приблизно половині довжини очисного вибою.

Мета статті (постановка завдання).

На основі шахтних експериментальних спостережень розкрити закономірності руху повітря у таких що ущільнюються породах виробленого простору виїмкової ділянки.

Методи дослідження.

шахтні інструментальні вимірювання розподілення повітря у гірничих виробках що розташовані у виробленому просторі поблизу очисного вибою.

Виклад основного матеріалу.

Для встановлення закономірностей розподілу повітря в сусідньому до лави виробленому просторі було використано проведені автором ,свого часу, але такі що не зазнали широкого опублікування, спостереження в проведених за лавою виробках на шахтах ім. М.І. Калініна та «Глибока» холдингу «Донвугілля». Там застосовується Ш-подібна схема провітрювання виїмкових ділянок. Свіже повітря надходить по конвеєрних виробках, проведених біля кордонів стовпа виїмки, а вихідний струмінь надходить в розташований в середній частині виробленого простору вентиляційний штрек, що проводиться позаду лави (рис. 1).

Гірничо-геологічні умови залягання пласта h10 такі. Глибина розташування лав 1040...1200 м. Потужність пласта 1,2...1,7 м, кут падіння - 18...34°. Безпосередня покрівля типу Б1...Б3 представлена аргілітом потужністю 8,6...11,8 м, коефіцієнт міцності якого $f=2,2...4,9$. Вище залягає алевроліт потужністю 1,3...3,4 м, його міцність - $f=2,1...5,5$. Основна покрівля середньої обрешувальності класу А2...А3.. Безпосередній ґрунт пласта класу П2 представлений пісковиком потужністю 0,1...8,2 м ($f=6,3...12,5$), нижче знаходиться алевроліт потужністю 0,6...37,9 м.

Вентиляційні штреки проводять буровибуховим способом по тріщинуватим, розшарованим, сипучим породам безпосередньої покрівлі у середній частині виробленого простору (рис. 2).

Відставання вибою підготовчого вироблення від очисного вбирається у 8,0 м. Площа поперечного перерізу штреків в чорному - 21,5...21,8 м², у світлі 18,0...18,9 м². Кріп - податлива аркова металева п'ятиланкова, покрівля та боки затягнуті суцільно, матеріал затяжки - залізобетон, дерево або металева сітка. Крок встановлення рам основного кріплення – 0,5 м, у місцях обладнання запасного виходу з лави – 0,8 м.

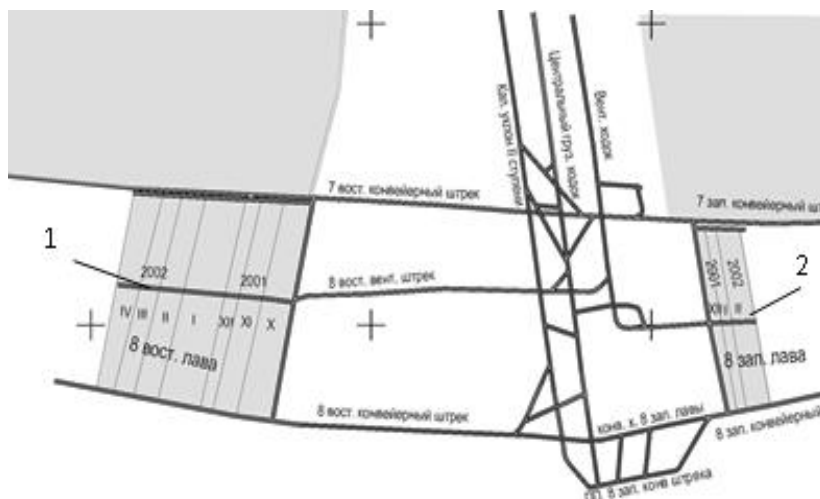


Рис.1. Викопування із плану гірничих робіт шахти «Глибока» ДХК «Донвугілля»: 1, 2 – восьми західний та східний вентиляційні штреки пласта h10

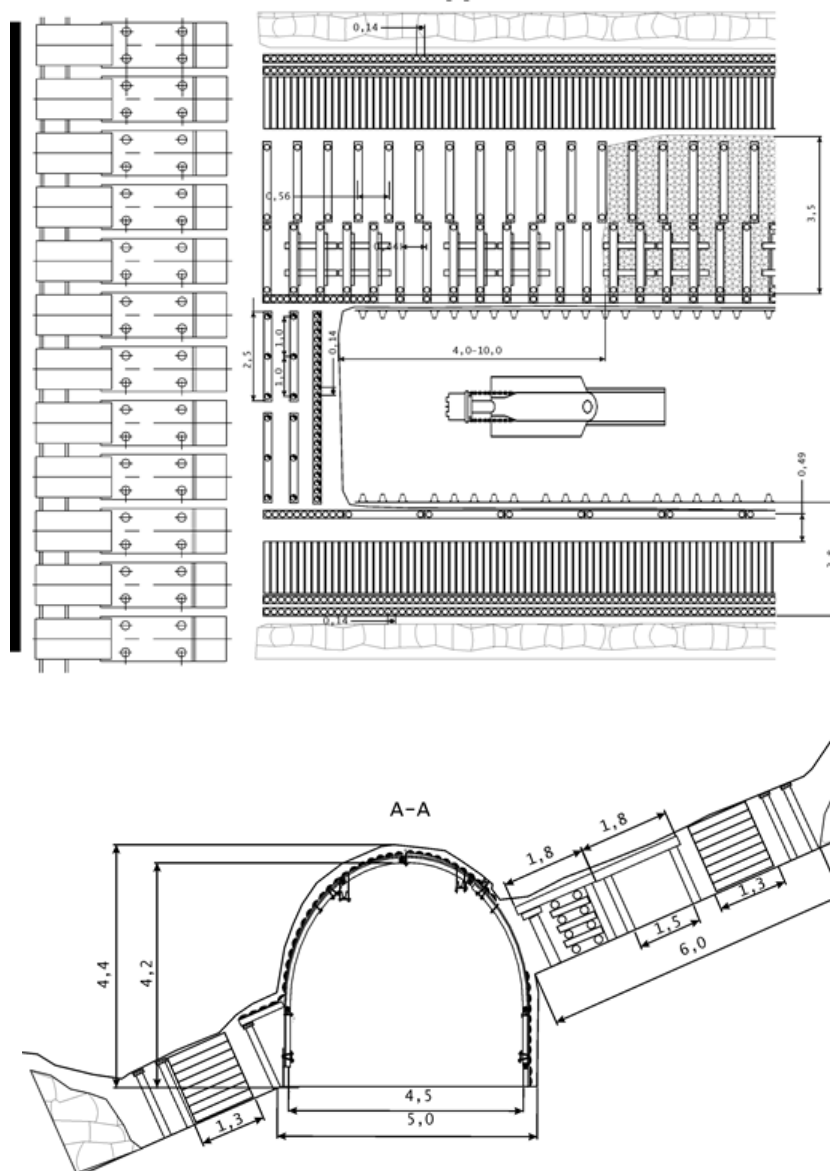


Рис.2. Проведення вентиляційного штреку слідом за лавою в таких що ущільнюються обвалених породах покрівлі пласта h10 на шахті ім. М.І. Калініна ДХК «Донвугілля»

Породу з прохідницького вибою доставляють за допомогою скреперів (шахта «Глибока») або породонавантажувальної машини (шахта ім. Калініна), і укладають вручну в бутові смуги. Рами дерев'яного кріплення при цьому не видаляють.

Щільність заповнення простору породою 70-90%, крім того, на шахті ім. М.І. Калініна на флангах смуги викладають чуракові перемички та органне кріплення, обсяг порожнеч у них близько 10...20 %. Порожнечі всього обсягу штучних споруд, що мають ширину 10...16 м, пов'язані між собою і становить одну аеродинамічну систему з виробленням.

Завданням експериментальних досліджень було встановлення кількості повітря, що надходить за рахунок загальношахтної депресії у вентиляційний штрек з виробленого простору через обвалені породи, що ущільнюються. Розв'язання задачі ускладнювало наявність неконтрольованих потоків повітря в порожнинах, що складаються з технологічних проміжків між різними видами споруд і порожнин у бутовій смузі. Існувала побоювання, що при зменшенні під дією гірського тиску порожнин повітря перетікатиме в штрек, створюючи ілюзію додаткових підсмоктування з виробленого простору.

Для оцінки кількості повітря, що надходить з порожнин, був передбачений контроль обсягу навколоштрекових споруд. Враховуючи практичну незмінність їхньої ширини, досить було визначати зміну висоти споруд. Припускаючи, що породи, що вміщують вироблення, деформуються значно менше, ніж забутовка і чуракові стінки, контроль зводився до вимірювання висоти вироблення.

Проведені у вентиляційних штреках виміри показали парадоксальні, здавалося б, результати. На ділянці 18...100 м від вибою штреку, розташованому в області ущільнення обваленого масиву, спостерігали не збільшення, а скорочення витрати повітря через замірні перерізи (рис. 3).

Для порівняння результатів вимірювань у різних видобувних ділянках, де інтенсивність провітрювання була неоднаковою, оперували відносним витратою (Q , %). Беручи до уваги захащеність виробок обладнанням та матеріалами, що не дозволяло вибрати замірні перерізи з неспотвореним характером струменя допускався 10% рівень похибки. Незважаючи на досить високий розкид результатів (достовірність апроксимації $R^2 \sim 0,65$), не зазначено жодного випадку збільшення витрати повітря з віддаленням від лави.

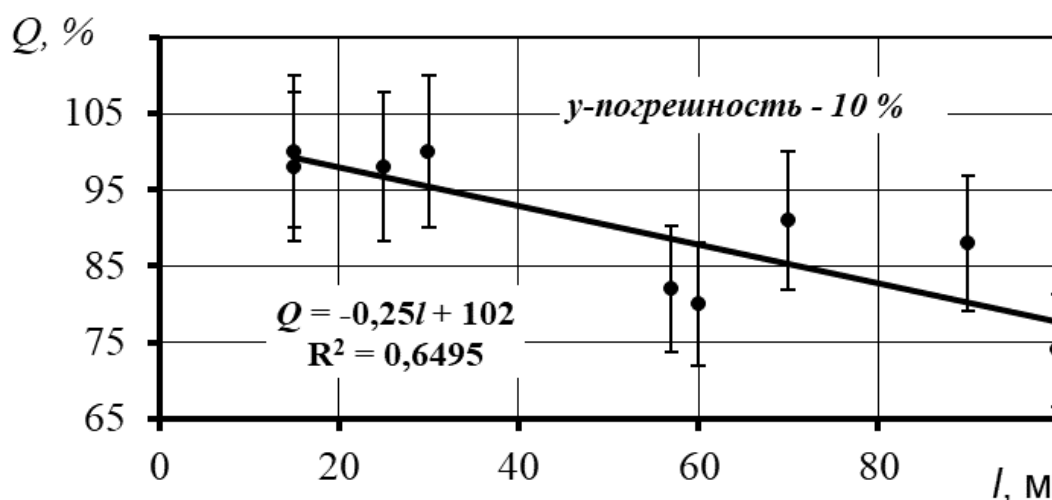


Рис.3. Зміна витрати повітря (Q , %) у вентиляційному штреку з видаленням від вибою (l)

Для виявлення причини зменшення повітряних потоків було виконано зіставлення змін витрати повітря та висоти виробітку (рис. 4.). Результати однозначно показали, що зменшення розмірів вентиляційного штреку в порівнянні з початковими (h , %) призводило до скорочення кількості повітря, що проходить по ньому.

Таке явище пояснюється впливом частини повітря зі штреку через збільшення його аеродинамічного опору. Можна

припустити, що опір руху повітря в закріпленому просторі зменшувався або був постійним. Цьому сприяла конструкція штучних споруд, виготовлених із елементів, що мають різну жорсткість. Органне кріплення та дерев'яні стійки мали мінімальну податливість. Бутові смуги, особливо зведені скреперним способом, просідали при навантаженні на 50% і більше. Внаслідок нерівномірного процесу опускання покрівлі в прилеглому до штреку просторі розвивалися порожнечі, що служать колекторами повітря.

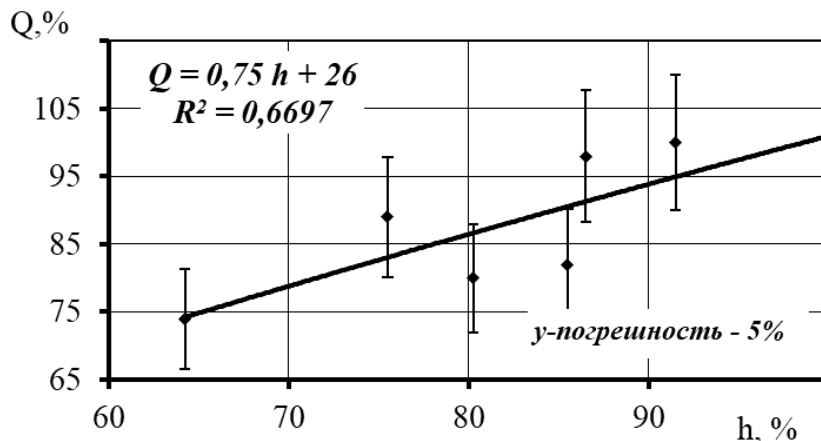


Рис.4. Зміна витрати повітря (Q , %) у вентиляційних штреках шахти ім. М.І. Калініна при зменшенні висоти виробітку (h , %).

Це припущення було підтверджено після зіставлення потоків у гирлах штреків, що підтримуються в цілинах вугілля, і в привибійній частині штреків. Виявилось, що у гирлах, де практично немає порожнин за кріпленням, витрата повітря більша на 4...11%. Знижена витрата повітря на основній довжині вироблення обумовлена в основному витоками в навколоштрекові порожнини. Приблизна рівність повітряних потоків у місцях надходження з лави і виходу зі штреку свідчить про відсутність підсмоктування з виробленого простору на маршруті його руху в області порід, що не ущільнилися.

Ці дані дозволили експериментально обґрунтувати раніше зроблене припущення про непроникність обрушених порід, що ущільнюються, на рівні ґрунту відпрацьованого пласта. Крім того, встановлено наявність повітропровідних порожнин у штучних спорудах. Результатами досліджень підтверджується висновок про те, що через непроникність виробленого

простору для повітря пожежонебезпечні зони не можуть існувати в підроблених масивах, що знаходяться на стадії консолідації.

Для оцінки проникності обрушених порід під дією гранично можливого в шахтних умовах рівня депресії було проведено повітряну зйомку у 12-х людському та допоміжному ходках пласта m_3 шахти ім. А.Ф. Засядька (рис. 5).

Ці флангові паралельні, розташовані в обрушених породах з відривом 65...70 м друг від друга похилі ($\alpha=10...120$) вироблення проводили ділянками після відпрацювання відповідних лав.

Ходки перетинали вироблені простори трьох виїмкових стовпів, кожен із яких оконтурено двома погашеними виробками. Спосіб проведення комбайновий, площа перерізу у проходці – 18 m^2 . Кріп податливий аروحний металевий триланковий, покрівля і боки затягнуті суцільно, матеріал затяжки - залізобетон і дерево. Відстань між рамами кріплення 0,5м.



Рис.5. Викопування із плану гірничих робіт по пласту m3 у східному крилі шахти ім. А.Ф. Засядька

По ходку подається вихідний струмінь повітря ($Q = 3100 \text{ м}^3 \text{ хв}^{-1}$), свіжий - по допоміжному ходку ($Q = 780 \text{ м}^3 \text{ хв}^{-1}$). Депресія між виробками перевищувала 350 даПа, що зажадало встановлення в проміжній збійці чотиридверного шлюзу. На 800-метровій ділянці в паралельно розташованих виробках виконано вимірювання витрати повітря з метою визначення витоків з 12-го допоміжного ходка в людській. При виборі замірних перерізів враховувалася можливість підсмоктування повітря через погашені

штреки раніше відпрацьованих лав. Крім того, ускладнюючим фактором була наявність порожнин у закріпленому просторі виробок, що неодноразово піддавалися ремонту. За кріпленням видно не витягнуті при перекріпленні ходка ніжки рам, труби, в покрівлі – «купола». Втіки повітря в ці порожнечі знижували точність вимірів.

Обробка результатів показала (рис. 6), що відносні похибки вимірювання повітряних потоків не перевищували 5% у допоміжному та 7% у людському ходках.

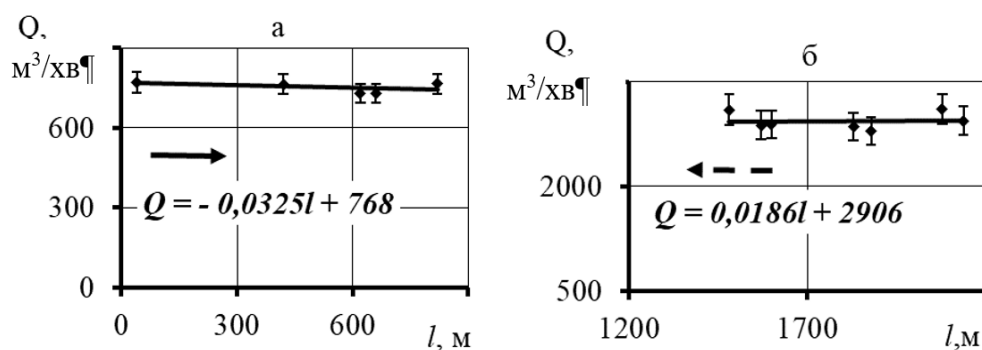


Рис.6. Витрата повітря (стрілками показано напрямок руху струменя) по пройденим в обрешених породах пласта m3 допоміжному (а) та людському (б) ходкам на шахті ім. А.Ф. Засядька: l - відстань від гірла вироблення.

Рівняння трендів свідчать про зміни витрати повітря за довжиною виробок на 2..3 %, що не перевищує максимальної похибки вимірювань. Крім того, в людському ходку замість передбачуваного збільшення витрати, зумовленого підсмоктуванням повітря, відзначено його скорочення. Зважаючи на високий рівень депресії, на основі експериментальних даних можна зробити висновок про відсутність аеродинамічного зв'язку між виробками через обвалені породи покрівлі відпрацьованого пласта.

Висновки. Таким чином, на основі шахтних спостережень підтверджено зроблене на підставі аналізу структурної будови масиву висновок, що обвалені породи покрівлі пласта є середовищем непроникним для повітря, що рухається за рахунок головного провітрювання шахт депресії, що розвивається вентиляторами. Це відноситься однаковою мірою до ущільнених і неущільнених ділянок підробленого масиву на рівні ґрунту пласта. З чого можна зробити висновок про неможливість виникнення там осередків самонагрівання вугілля через відсутність обміну повітря.

Список літератури

1. Пашковський П.С. Розробка способів прогнозу та запобігання ендегенних пожеж у глибоких шахтах: Автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.26.01 / Донецьк. політех. ін-т. - Донецьк, 1992. - 40 с.
2. Методика диференційованого прогнозу ендегенної пожежонебезпеки виїмкових полів та ділянок з урахуванням умов утворення скупчень вугілля в шахтах. Затв. ДВГРС України 24.05. 95. - 30 с.
3. Трофимов В.О. та ін. – Аерологія шахтних вентиляційних мереж. Монографія, - Донецьк, ДонНТУ, 2009. - 88 с.
4. Трофимов В.О. – Властивості паралельних вентиляційних з'єднань // Вугілля України, № 4–5, 2015, с. 56–58.
5. Кожушок О.Д. – Рішення для вентиляції в умовах нестандартних ситуацій // Вугілля України, № 11, 2015, с. 20–26.
6. Рясний В.М. та ін. – Від теоретичних розрахунків до впровадження засобів провітрювання // Вісник НУВГП, випуск 2(98), 2022, с. 20–38.
7. "Особливості розрахунку витоків повітря через вироблений простір вугільних шахт" Автори: S. Minieiev, L. Novikov, P. Samopalenko, R. Makarenko (2022) journals.nmetau.edu.ua

На додаток до відомостей, отриманих експериментально на моделях з еквівалентних матеріалів, про вплив навколоштрекових споруд формування пожежонебезпечних зон встановлено наступне. Процес осідання підробленого масиву над штучними спорудами, що складаються з елементів неоднакової жорсткості, призводить до виникнення порожнин, що є колекторами повітря. Порожнечі утворюються навіть за нестійких порід безпосередньої покрівлі пласта. Їх довжина можна порівняти з довжиною вироблення, а тривалість існування – не менше терміну відпрацювання лави. Тому існує загроза самонагрівання залишеного поблизу штучних споруд вугілля.

Наведені результати досліджень доповнюють сучасні уявлення щодо руху повітряних потоків у виробленому просторі видобувної дільниці і мають суттєве значення для забезпечення надійності, безпечності ведення гірничих робіт на великих глибинах та профілактики ендегенних пожеж.

8. Зборщик М.П. Охорона виробок глибоких шахт у виробленому просторі. - Київ: Техніка, 1978.-176 с.

9. Зборщик М.П. Розробка технології управління вміщувальним масивом та стійкістю основних підготовчих виробок пологих пластів на великих глибинах. Автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.15.02 / - Дніпропетровськ. ІГТМ, 1986. - 45 с.

10. Назимко В.В. Дослідження та розробка способів підвищення стійкості виробок в обрушених та ущільнених породах. Автореф. дис.... канд. техн. наук: 05.15.02 / -Донецьк. ДПІ, 1981. - 20 с.

11. Заболотній А.Г., Холодов В.П., Каледін Н.В., Костенко В.К. Локалізація ендегенної пожежі на шахті «Дніпровська» // Вугілля України № 6, 1996. -С.31-34.

12. Костенко В.К. Вплив геомеханічних факторів на формування пожежонебезпечних зон у виробленому просторі // Вугілля України. 1997. №9. -С. 48-51.

References

1. Pashkovskyi, P. S. (1992). Rozrobka sposobiv prohnazu ta zapobihannia endohennykh pozhezh u hlybokykh shakhtakh [Development of methods for forecasting and prevention of endogenous fires in deep mines]. (Abstract of Doctoral Thesis). Donetsk Polytechnic Institute, Donetsk, 40 p.

2. DVHRS of Ukraine. (1995). Metodyka dyferentsiiovanoho prohnozu endohennoi pozhezhonebezpeky vyimkovykh poliv ta dilianok z urakhuvanniam umov utvorennia skupchen vuhillia v shakhtakh [Methodology for differentiated forecasting of endogenous fire hazard of extraction fields and sections, taking into account the conditions for the formation of coal accumulations in mines]. Approved 24.05.95, 30 p.
3. Trofymov, V. O., et al. (2009). Aerolohiia shakhtnykh ventyliatsiinykh merezh [Aerology of mine ventilation networks]. Monograph. Donetsk, DonNTU, 88 p.
4. Trofymov, V. O. (2015). Vlastyvoli paralelnykh ventyliatsiinykh ziednan [Properties of parallel ventilation connections]. Vuhillia Ukrainy [Coal of Ukraine], (4–5), 56–58.
5. Kozhushok, O. D. (2015). Rishennia dlia ventyliatsii v umovakh nestandartnykh sytuatsii [Ventilation solutions in non-standard situations]. Vuhillia Ukrainy [Coal of Ukraine], (11), 20–26.
6. Riasnyi, V. M., et al. (2022). Vid teoretychnykh rozrakhunkiv do vprovadzhennia zasobiv provitriuvannia [From theoretical calculations to the implementation of ventilation tools]. Visnyk NUVHP [Bulletin of NUWEE], 2(98), 20–38.
7. Minieiev, S., Novikov, L., Samopalenko, P., & Makarenko, R. (2022). Osoblyvosti rozrakhunku vytokiv povitria cherez vyroblyeni prostir vuhilnykh shakht [Features of calculating air leakage through the goaf of coal mines]. System Technologies, journals.nmetau.edu.ua.
8. Zborshchuk, M. P. (1978). Okhrona vyrobok hlybokykh shakht u vyrobnomu prostori [Protection of deep mine workings in the goaf]. Kyiv: Tekhnika, 176 p.
9. Zborshchuk, M. P. (1986). Rozrobka tekhnolohii upravlinnia vmistuvalnym masyvom ta stiikistiu osnovnykh pidhotovchykh vyrobok polohykh plastiv na velykykh hlybynakh [Development of technology for managing the containing massif and the stability of the main preparatory workings of flat seams at great depths]. (Abstract of Doctoral Thesis). IGTM, Dnipropetrovsk, 45 p.
10. Nazymko, V. V. (1981). Doslidzhennia ta rozrobka sposobiv pidvyshchennia stiikosti vyrobok v obrushenykh ta ushchilnennykh porodakh [Research and development of ways to increase the stability of workings in collapsed and compacted rocks]. (Abstract of PhD Thesis). DPI, Donetsk, 20 p.
11. Zabolotnii, A. H., Kholodov, V. P., Kaledin, M. V., & Kostenko, V. K. (1996). Lokalizatsiia endohennoi pozhezhi na shakhti «Dniprovsk» [Localization of endogenous fire at the "Dniprovsk" mine]. Vuhillia Ukrainy [Coal of Ukraine], (6), 31–34.
12. Kostenko, V. K. (1997). Vplyv heomekhanichnykh faktoriv na formuvannia pozhezhonebezpechnykh zon u vyrobnomu prostori [Influence of geomechanical factors on the formation of fire-hazardous zones in the goaf]. Vuhillia Ukrainy [Coal of Ukraine], (9), 48–51.

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

EXPERIMENTAL STUDIES OF AIR MOVEMENT PARAMETERS IN GOAF AREAS

Purpose. Based on in-situ mine experimental observations, to reveal the regularities of air movement in the compacting rocks of the extraction section goaf.

Research Method. In-situ instrumental measurements of air distribution in mine workings located within the goaf area near the longwall face.

Results. The mining-geological and mining-technical conditions for maintaining ventilation workings in the deep mines of the Donbas are described. The indicators of air surveys in these mine workings are presented. An analysis of air leakages into the goaf of the extraction section is performed.

Scientific novelty. Based on in-situ mine observations, it has been confirmed that the collapsed roof rocks are an impermeable environment for air moving due to the general mine pressure differential (depression). This applies equally to both compacted and non-compacted areas of the undermined massif at the level of the seam floor. From this, it can be concluded that the emergence of coal self-heating focal points is impossible there due to the lack of air exchange. The process of undermined massif subsidence over artificial structures leads to the formation of cavities - air collectors. Therefore, there is a threat of self-heating of the coal left near such artificial structures.

Practical Significance. The presented research results supplement modern concepts of air flow movement in the goaf of an extraction section and are of significant importance for ensuring the reliability and safety of mining operations at great depths, as well as for the prevention of endogenous fires.

Key words: *goaf of the extraction section, air movement in compacting rocks, tightness of the environment at the seam floor, fire hazard zone, air leakage in the goaf*

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

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8439-6564>

E-mail: vk.kostenko@gmail.com

УДК 351.862:620.92:004.8(477)

[https://doi.org/10.36910/3083-6255/2\(2\).2025.70-82](https://doi.org/10.36910/3083-6255/2(2).2025.70-82)

В.М. Лобойченко
І.М. Хмиров
М.С. Соломчук

ЦИВІЛЬНИЙ ЗАХИСТ В УМОВАХ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ТА ІНДУСТРІЇ 5.0: ВИКЛИКИ ДЛЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ (КЕЙС МІКРОГРІДІВ)

Мета. Метою статті є визначити основні фактори небезпеки, що впливають на функціонування мікрогрідів для зменшення рівня цивільної небезпеки на цих підприємствах в межах України та запропонувати шляхи їх мінімізації.

Методи дослідження. У процесі дослідження використано: літературний аналіз, теоретичне дослідження наявної інформації, використання методів аналізу та синтезу, індукції та дедукції, систематизації та узагальнення, методи формальної логіки.

Результати. В роботі відзначено необхідність відходу від викопних ресурсів та переходу країн на використання відновлювальних джерел енергії в межах досягнення Цілей Сталого Розвитку, відмічено цифрову трансформацію суспільства та перехід до концепції Індустрії 5.0. Проаналізовано особливості структури мікрогрідів як одного з ключових підприємств відновлювальної енергетики в межах забезпечення сталого розвитку та Індустрії 5.0. Відмічено їх склад та особливості функціонування, в тому числі, й застосування штучного інтелекту при управлінні мікрогрідами. Висвітлено наявні проблеми (технічні, економічні, правові, кіберзагрози), а також потенціал для впровадження в енергосистему України.

Наукова новизна. За результатами роботи запропоновано та структуровано основні напрямки градації мікрогрідів, відзначено та проаналізовано основні фактори небезпеки при функціонуванні мікрогрідів різної конструкції, вперше окреслено градацію основних напрямків, за якими може спостерігатись підвищення рівня цивільної небезпеки при роботі мікрогрідів в межах України, що є науковою новизною дослідження.

Практична значимість. З урахуванням визначених факторів небезпеки запропоновано шляхи мінімізації рівня цивільної небезпеки що є практичним результатом даного дослідження. Своєчасна реалізація запропонованих заходів при впровадженні мікрогрідів в енергетичну систему України, як очікується, сприятиме її подальшому повоєнному відновленню та сталому розвитку в межах Індустрії 5.0. Отримані результати носять прикладний характер і стануть в нагоді широкому колу фахівців в сфері цивільного захисту, охорони праці, енергетики та захисту довкілля при розбудові та впровадженні мікрогрідів в енергетичну галузь України.

Ключові слова: мікрогрід, цивільна безпека, штучний інтелект, відновлювальна енергетика, захист довкілля, кіберзагроза.

Вступ.

В межах Цілей сталого розвитку, сформульованих Організацією Об'єднаних Націй у 2015 році, відзначається, серед іншого, перехід до доступної, стійкої та чистої енергії та всебічну боротьбу зі зміною клімату. До 2030 року держави-члени ООН зобов'язалися скоротити залежність від викопних джерел енергії та збільшити частку низьковуглецевих енергетичних рішень. Це виступає важливим кроком для мінімізації викидів вуглецю у навколишнє середовище та досягнення кліматичних цілей. Передбачається поступова відмова від використання традиційних викопних джерел - нафти, вугілля, природного газу, та перехід до чистіших, відновлюваних джерел енергії (сонячна, вітрова, гідроенергія, термальна енергія), що сприяють зниженню викидів парникових газів та сталому розвитку енергетичного сектора [1]. Декарбонізація

енергетики включає також відмову від вуглецевих джерел енергії (викопні джерела) та перехід на використання водню [2] або аміаку, який, в свою чергу, може виступати як носій водню або безпосередньо джерело енергії [3].

В межах підтримки Україною Цілей Сталого Розвитку Кабінет Міністрів [4] сформував завдання щодо досягнення Цілей сталого розвитку на період до 2030 року. Зокрема, для забезпечення «Цілі 7 “Доступна та чиста енергія”» виокремлено сім завдань що включають децентралізацію, декарбонізацію та раціоналізацію енергетичного забезпечення, його незалежність та рівність доступу, підвищення якості та безпеки енергопостачання, захист вразливих споживачів.

Відповідно, на сьогодні в світі активно відбувається розбудова відновлювальної

енергетики, що включає значні інвестиції та створення робочих місць [5]

Слід відмітити, що сучасний технологічний розвиток у промисловості та енергетиці як закономірний етап еволюції суспільства виступає чинником формування принципово нових систем, середовищ і галузей. Зокрема, розбудова цифрового простору та створення цифрових інструментів, технологій та програмних рішень стали причиною появи принципово нових, цифрових екосистем, що є характерними для окремих галузей, установ, підприємств та організацій. Їх використання у промисловій сфері зумовило формування концепції Індустрії 4.0, орієнтованої на автоматизацію і цифровізацію виробничих процесів [6]. В рамках цієї концепції активно застосовуються технології Інтернету речей (IoT, Internet of Things), штучного інтелекту (AI, Artificial Intellect), «розумних» систем (будівель, інфраструктури, технологічного обладнання), а також робототехнічні комплекси [7]. Ці рішення не лише підвищують економічну ефективність виробництва, а й відіграють важливу роль у забезпеченні промислової, пожежної, екологічної та цивільної безпеки. Як приклад реалізації принципів Індустрії 4.0 у промисловості можна навести використання мереж сенсорів, заснованих на різних фізичних та хімічних процесах, призначених для раннього виявлення та запобігання пожежам на об'єктах [8]. Застосування методів машинного навчання для виявлення відхилень у роботі таких сенсорів підвищує надійність функціонування безпекових систем у режимі реального часу. Впровадження адаптивних систем моніторингу з використанням IoT, нейронних мереж, технологій захоплення зображень та передачі даних через месенджери забезпечує оперативне виявлення загроз різної природи, сприяє підвищенню стану охорони праці на виробництві та безпечності виробничих процесів [9, 10, 11].

Подальший розвиток технологій призвів до формування концепції Індустрії 5.0, яка акцентує увагу не лише на технологічних аспектах (порівняно з Індустрією 4.0), а й на соціальних та екологічних факторах розвитку промисловості [12]. Індустрія 5.0 наголошує на співпраці між людьми та машинами та

забезпеченні сталого розвитку, що є відображенням переходу до більш персоналізованих та екологічно чистих виробничих процесів [13].

Таким чином, на сьогодні відбувається трансформація світової енергетичної галузі як складової забезпечення сталого розвитку суспільства та впровадження циркулярної економіки [14], і, в тому числі, пов'язана з необхідністю стійкого енергетичного забезпечення населення [15]

В умовах розробки та впровадження нових енергетичних та технічних рішень, в тому числі, й в межах впровадження концепції Індустрії 5.0 важливим елементом функціонування таких систем є забезпечення задовільного рівня цивільної безпеки, що включає запобігання впливів різноманітних небезпечних чинників, пов'язаних з роботою цих систем.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

На сьогодні вже відомі, активно розбудовуються і впроваджуються технологічні енергетичні рішення, пов'язані з індивідуальним використанням сонячної, вітрової, водної енергії, енергії землі та океану [16]. Ці ресурси також використовуються для виробництва водню як альтернативного джерела енергії [17, 18], для забезпечення роботи промисловості, транспорту, побутових потреб [19].

Новим кроком щодо використання цих джерел стала концепція «мікрогридів» [20]. Мікрогрид представляє собою самодостатню енергетичну систему, що обслуговує певну географічну територію, підприємство, заклад, комплекс, район. Вони можуть бути використані для стаціонарних джерел (будівлі) та мобільних (електротранспорт). Їх масштаб може варіюватись від міністанції, що обслуговує будівлю до мегастанції, розрахованої на підтримку цілого району [21]. В мікрогридах використовується один або кілька видів розподіленої енергії (сонячні панелі, вітряні турбіни, біогазові станції, генератори тощо), які забезпечують вироблення електроенергії. Вони також можуть включати системи зберігання енергії, як правило, акумуляторні батареї [22]. Принципова схема мікрогрида представлена на рис. 1. Мікрогриди можуть бути під'єднані до традиційних мереж (рис.1, А) або працювати в автономному режимі (рис.1, В).

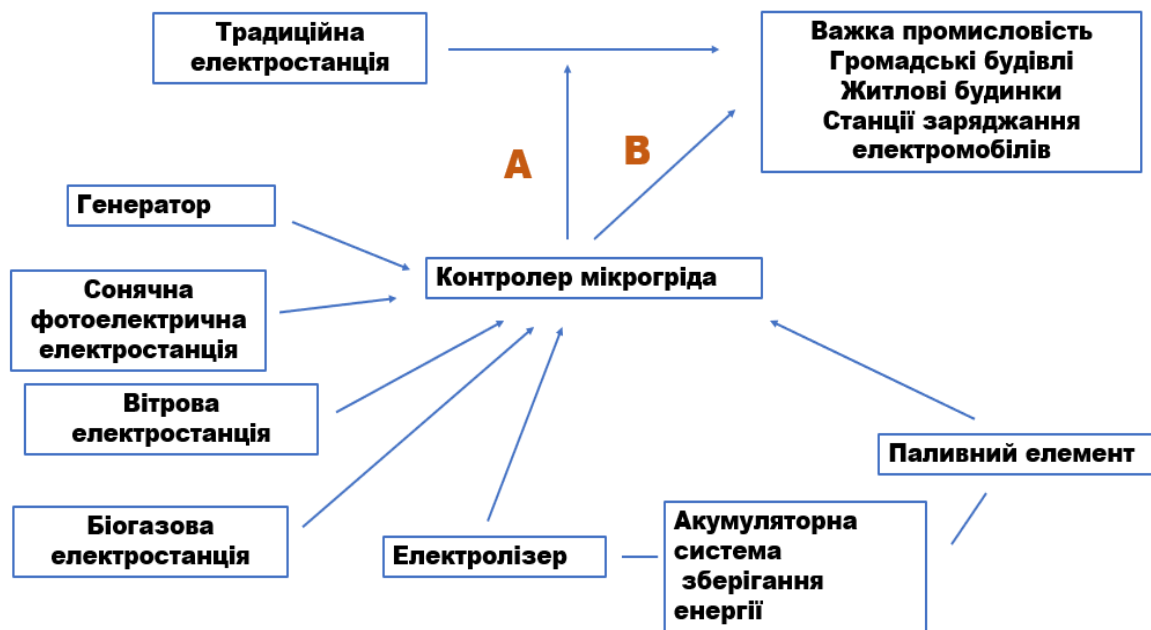


Рис. 1. Принципова схема мікрогрида. А – робота в мережевому форматі, В – робота в автономному режимі.

Модульність конструкції мікрогридів, можливість регулювання та керування енергією, мінімізація витрат на її транспортування та близькість до кінцевого споживача зробили їх актуальними, насамперед, для віддалених сільськогосподарських районів [23]. Водночас, вони можуть бути способом забезпечення енергетичної автономії для окремих спільнот, районів та об'єктів [24]. Розвиток концепції мікрогридів сприяв формуванню їх структури, технічного та програмного забезпечення, вивченню управління потоками енергії всередині цієї системи та дослідженню особливостей її взаємодії з об'єктом та іншими енергетичними системами.

Подальший розвиток та вдосконалення поняття «мікрогрид» з кількома джерелами енергії призвело до його трансформації у smart grids, де обов'язковим елементом мережі є також система інтелектуального управління [25]. Як наслідок, стала очевидною необхідність дослідження ієрархії керування, структури рівнів контролю та елементів керування в даних мікрогридах [26].

Розвиток моделей глибокого навчання та штучного інтелекту також сприяв впровадженню цих інструментів в структуру

управління мікрогридом [27, 28, 29], в тому числі, й для моніторингу й технічного обслуговування з застосуванням Інтернету речей [30].

Як вже відмічалось, мікрогриди можуть відрізнятися за принципом залученості до загальної енергетичної мережі або автономності (stand-alone system, off-grid system, islanded, isolated), за роботою (розподільні мережі постійного або змінного струму), за наявності базових елементів (сонячні фотоелементи, вітрові турбіни, генератори, гідротурбіни, батареї зберігання, контролери, паливні елементи тощо) [31], за виробництвом одного або декількох видів енергії [32], за розташуванням (сухопутні або морські) [33]. Для дослідження роботи мікрогридів використовуються різноманітні інструменти моделювання, прогнозування та оптимізації [34, 35], а також реальні проекти [36].

Для України, що має значні сільськогосподарські потужності, додатковим важливим елементом впровадження мікрогридів є застосування біогазу або біовідходів як джерела енергії в їх функціонуванні [37].

В той же час, промислове впровадження мікрогридів в електромережі держав поки знаходиться на початковому етапі. Цьому

сприяють декілька чинників. Зокрема, недосконалість законодавчого регулювання роботи мікрогридів на рівні держав (наприклад, в Україні), навіть тих, де структура відновлювальної енергетики досить розбудована [32, 38, 39], необхідність інвестування та стимулювання зеленої економіки, особливо на первинних етапах [36], необхідність враховувати кейсові ситуації (розмір, структуру, район розташування і т.п.) для мікрогрида [40].

Також, відмічаються можливі кіберзагрози в систему управління мікрогридом, враховуючи складний характер його функціонування [41, 42], розташування мікрогриду [43] та можливість внесення неправдивих даних в систему [44], в тому числі, щодо зовнішніх загроз [45], а також безпосередній вплив цих загроз (лісові пожежі) на діяльність сталої електромережі та мікрогридів [46]. При забезпеченні пожежної безпеки також необхідно враховувати особливості електропостачання для систем протипожежного захисту (постійний/перемінний струм) [47].

Однією з важливих лімітуючих характеристик мікрогридів, що знаходиться на етапі вирішення – це складність управління потоками енергії при використанні декількох джерел енергії. Враховуючи, що первинним джерелом енергії є природний чинник (сонце, вода, вітер тощо) та мають місце мінливість та сезонність кліматичних умов в деяких регіонах, то чітко визначити продуктивність цього джерела є складним завданням. Також наголошується на необхідності забезпечення надійного енергозабезпечення критичних об'єктів інфраструктури при використанні мікрогридів [48]. Аналізується особливість відновлення їх роботи при короткому замиканні [49], перенавантаженні [50] та після збоїв [51] та наголошується на необхідності точного прогнозування енергетичного навантаження на мікрогрид від споживачів [52].

Дослідження щодо безпеки експлуатації мікрогридів охоплює лише деякі показники (стабільність системи, енергоефективність, температуру системи, температуру навколишнього середовища) на прикладі мікрогрида з фіксованою структурою [53], хоча ці ж автори відмічають наявність досліджень за окремими складовими

мікрогридів (зберігання, трансформація енергії).

Серед інших обмежуючих чинників відмічається недостатня інформованість споживачів, складність технічного обслуговування та експлуатації, етичні та політичні й правові питання (наприклад, в частині застосування штучного інтелекту), джерела фінансування [54].

Військова агресія росії в 2022 р. додатково продемонструвала Україні та світові необхідність диверсифікації енергоджерел та забезпечення їхньої стійкої роботи в мережевому та автономному форматі, особливо в умовах неочікуваних, термінових та багаторазових відключень. В цьому аспекті безпечно впровадження та робота енергетичних систем, що здатні ефективно функціонувати як у централізованому, так і в автономному форматі, є критично важливим для населення та економіки країни.

Таким чином, можна відзначити, що, попри наявні обмеження, застосування мікрогридів в енергетичній системі України має значний потенціал в межах впровадження концепції Індустрії 5.0 та досягнення Цілей Сталого Розвитку. Відповідно, ці структури можуть розглядатись як важливий елемент енергетичної, екологічної, промислової та, загалом, цивільної безпеки нашої держави. Розуміння природи та особливостей потенційних небезпек, що можуть вплинути на функціонування мікрогридів дозволить забезпечити своєчасне реагування на них з боку відповідних структур. В цьому випадку актуальним питанням є дослідження чинників, що можуть вплинути на рівень цивільної безпеки в цій системі.

Мета статті (постановка завдання).

Враховуючи вищевказане, мета роботи: визначити основні фактори безпеки, що впливають на функціонування мікрогридів для зменшення рівня цивільної безпеки на цих підприємствах в межах України та запропонувати шляхи їх мінімізації.

Методи дослідження.

Методи дослідження: літературний аналіз, теоретичне дослідження наявної

інформації, використання методів аналізу та синтезу, індукції та дедукції, систематизації та узагальнення, методи формальної логіки.

Виклад основного матеріалу.

Враховуючи специфічну структуру, мікрогріди можна розглядати з декількох основних напрямків. Вони наведені нижче.

1. Матеріальний:

- Як фізичний об'єкт. В залежності від розмірів може бути розміщений на одній або декількох площах.

- Як складна структура. Може містити різні типи обладнання: сонячні панелі, вітряні турбіни, батареї, електролізери, контейнери для біовідходів, резервуар для зберігання газу (водень, аміак тощо).

- Як система управління даними та об'єктами (кількість обладнання, інформація на фізичних носіях тощо), що має складну ієрархію.

- За хімічним складом. Матеріал, що використаний при виробництві конструкцій (пластик, метал, деревина, небезпечний газ тощо).

2. Енергетичний:

- Як система передачі та зберігання енергії, що має складну структуру.

3 Антропогенний

- Як підприємство з певним штатом працівників і середовищем «роботодавця-робітника».

4. Інформаційний

- Як цифрова екосистема, що має складні внутрішні та зовнішні зв'язки при передачі інформації.

5. Екологічний:

- В залежності від рівня впливу на довкілля (наприклад, викиди, скиди, відходи, або вуглецевий слід), що певна діяльність або процес можуть чинити.

6. Економічний:

- Вартість безпосередня та опосередкована обладнання, процесів. Вартість електрики від окремих джерел енергії в мікрогріді та кінцева вартість електрики, експлуатаційні витрати тощо.

7. Безпековий:

- В залежності від рівня небезпеки, що може мати або чинити окремий процес, об'єкт, тощо, а також їх комплексний вплив.

Схематично запропонована градація мікрогрідів представлена на рис. 2. Слід враховувати, що вона не обмежена зазначеними напрямками та може також доповнюватись.

Матеріальний	Енергетичний	Антропогенний	Інформаційний	Екологічний	Економічний	Безпековий
• Фізичний об'єкт: розміщення на одній або декількох площах	Система передачі та зберігання енергії	Взаємодія:	Цифрова екосистема:	Вплив на довкілля:	Вартість:	Рівень небезпеки:
• Структура: сонячні панелі, турбіни, батареї, електролізери, контейнери, резервуари		Керівник-робітник	Складні внутрішні та зовнішні зв'язки при передачі інформації	Викиди, скиди, відходи	Обладнання та процесів	Процесів
• Система управління даними та об'єктами: кількість обладнання, інформація на фізичних носіях		Робітник-робітник	Інформаційні потоки	Вуглецевий слід	Електрики від окремих джерел енергії та кінцева вартість електрики	Об'єктів
• Хімічний склад: пластик, метал, деревина, небезпечний газ					Експлуатаційні витрати	Комплексний вплив

Рис. 2. Схематична градація мікрогріда за напрямками

Обговорення результатів.

Враховуючи вказану схематичну градацію мікрогріда за напрямками (рис. 2), можна відзначити такі основні потенційні

небезпеки, що вплинуть на його функціонування.

Також запропоновано потенційні шляхи їх вирішення (нівелювання) (Табл. 1).

Таблиця 1.

Потенційні небезпеки, що вплинуть на функціонування мікрогрида та потенційні шляхи їх вирішення (нівелювання)

Фактор небезпеки	Потенційний шлях вирішення (нівелювання)
Некоректність розташування об'єктів	Вирішується на етапі планування
Аварії та інциденти на об'єктах мікрогрида, пов'язані з пошкодженням обладнання	Коректне встановлення обладнання, профілактичні огляди обладнання, навчання персоналу, розробка чітких інструкцій з експлуатації обладнання та планів реагування на надзвичайні ситуації, впровадження системи моніторингу та раннього виявлення небезпек (пожежі, пошкодження, витіки небезпечних речовин) з застосуванням Інтернету речей на підприємстві та за навколишнім середовищем
Сбої в системі передачі даних та управлінні об'єктами	Навчання персоналу, автоматизація процесів, впровадження системи моніторингу з застосуванням Інтернету речей
Виток небезпечних речовин в довкілля (в результаті аварії обладнання, збоїв в системі, зовнішніми природними небезпеками, бойовими діями та терористичними атаками)	Навчання персоналу, розробка чітких інструкцій з експлуатації обладнання та планів реагування на надзвичайні ситуації різного характеру, впровадження системи моніторингу та раннього виявлення небезпек (пожежі, пошкодження, витіки небезпечних речовин) з застосуванням Інтернету речей на підприємстві та за навколишнім середовищем Використання екологічно дружніх та безпечних матеріалів, вторинне використання матеріалів
Робочі травми персоналу, ураження електричним струмом, професійні захворювання, перевтома, проблеми з ментальним здоров'ям	Навчання персоналу, профілактичні медичні огляди, створення здорового робочого середовища, розробка чітких інструкцій з експлуатації обладнання та планів реагування на надзвичайні ситуації
Некоректна передача інформації, енергетичні збої, внутрішні та зовнішні кіберзагрози	Застосування коректного програмного забезпечення, інструментів Штучного інтелекту, використання сертифікованого та ліцензованого програмного забезпечення, наявність чіткої регуляторної політики, застосування коректного обладнання, впровадження системи моніторингу та раннього виявлення небезпек (пожежі, пошкодження, витіки небезпечних речовин) з застосуванням Інтернету речей на підприємстві та за навколишнім середовищем
Фінансові втрати, висока вартість обслуговування та нерентабельність виробництва	Вирішується на етапі планування

Як видно з проведеного аналізу, важливими елементами мінімізації небезпек при роботі мікрогридів є коректна оцінка робіт на етапі планування, організаційно-технічні заходи та робота з персоналом, а також впровадження системи моніторингу та раннього виявлення небезпек (пожежі, пошкодження, витіки небезпечних речовин) з застосуванням Інтернету речей на підприємстві та за навколишнім середовищем.

Слід відмітити, що використання штучного інтелекту є допоміжним елементом управління та забезпечення цивільної безпеки при діяльності мікрогридів, але його застосування повинно бути контрольованим із дотриманням вимог чинного законодавства.

Висновки.

Таким чином, в роботі проведено аналіз сучасного стану щодо використання мікрогридів як потенційного джерела енергії

в межах концепції Індустрії 5.0 та сталого розвитку. Показано доцільність впровадження мікрогрідів в енергетичну структуру України в умовах сучасних викликів та загроз.

Запропоновано градацію мікрогріда за напрямками, що враховують діяльність персоналу, матеріальний, енергетичний, інформаційний, економічний, екологічний та безпековий характер об'єкта. Проаналізовано основні фактори небезпеки що можуть підвищити рівень цивільної небезпеки при роботі мікрогрідів в межах України, та запропоновано шляхи мінімізації цих небезпек.

Своєчасна реалізація запропонованих заходів при впровадженні мікрогрідів в енергетичну систему України, як очікується, сприятиме зниженню рівня цивільної небезпеки в державі та забезпечить її подальше повоєнне відновлення та сталий розвиток в межах Індустрії 5.0. Отримані результати стануть в нагоді широкому колу фахівців в сфері цивільного захисту, охорони праці, енергетики та захисту довкілля при розбудові та впровадженні мікрогрідів в енергетичну галузь України

Список літератури

1. Лобойченко В.М., Букарева О.В. Професійні ризики в системі управління безпекою праці при роботах на сучасних підприємствах енергетичної галузі. Збірник тез доповідей III Міжнародної науково-практичної конференції «OSHAgro – 2024». 30 вересня 2024 року. МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України, Науково-виробничий журнал «Охорона праці», Європейське співтовариство з охорони праці. Київ. 2024. С. 116 – 118.
2. Abbasian Hamedani, E., Alenabi, S. A., & Talebi, S. (2024). Hydrogen as an energy source: A review of production technologies and challenges of fuel cell vehicles. *Energy Reports*, 12, 3778–3794. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2024.09.030>
3. Loboichenko, V., Casado-Manzano M., Navas S.J., Toharias B., Felipe R., Iranzo A. Ammonia as energy source for solid oxide fuel cell technology, *Energy Reports*, 2025, 13, 5828–5847. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2025.05.020>
4. Кабінет Міністрів України. (2024, 29 листопада). *Деякі питання забезпечення досягнення Цілей сталого розвитку в Україні: Розпорядження № 1190-р.* База даних «Законодавство України». <https://zakon.rada.gov.ua/go/1190-2024-%D1%80>
5. *Renewable energy – powering a safer and prosperous future.* United Nations. from <https://www.un.org/hi/node/177543>
6. Лобойченко В.М. Сучасні технології в пожежогасінні як складова забезпечення промислової безпеки та охорони праці в концепції Індустрії 5.0. наук. праць V Всеукраїнської науково-практичної конференції викладачів та фахівців-практиків та XV Всеукраїнської науково-практичної конференції курсантів, студентів, аспірантів та ад'юнктів. – Львів: ЛДУБЖД, 2025. С. 22-24.
7. Красношпапка А., Фокіна-Мезенцева К. Характеристика та аналіз особливостей трансформації від Індустрії 4.0 до Індустрії 5.0 та суспільства 5.0. *Молодий вчений*. 2025. № 1 (132). С. 177–183. URL: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2025-1-132-8> (дата звернення: 10.04.2025).
8. Energy-, Cost-, and Resource-Efficient IoT Hazard Detection System with Adaptive Monitoring / C. L. Kok et al. *Sensors*. 2025. Vol. 25, no. 6. P. 1761. URL: <https://doi.org/10.3390/s25061761> (date of access: 12.04.2025).
9. Hybrid Machine Learning-Based Fault-Tolerant Sensor Data Fusion and Anomaly Detection for Fire Risk Mitigation in IIoT Environment / J. Desikan et al. *Sensors*. 2025. Vol. 25, no. 7. P. 2146. URL: <https://doi.org/10.3390/s25072146>
10. C. L. Kok et al. Energy-, Cost-, and Resource-Efficient IoT Hazard Detection System with Adaptive Monitoring. *Sensors*. 2025. Vol. 25, no. 6. P. 1761. URL: <https://doi.org/10.3390/s25061761>
11. Biswas, A., & Roy, D. G. (2021). Metamorphosis of Industrial IoT using Deep Learning. In *Signals and communication technology* (pp. 1–30). https://doi.org/10.1007/978-981-16-6186-0_1
12. Зубкова А., Майгурова Д., Місюня Р. Управління проектами цифрової трансформації міжнародних підприємств: ключові відмінності індустрії 4.0 та 5.0. *Modeling the development of the economic systems*. 2023. № 2. С. 120–130. URL: <https://doi.org/10.31891/mdes/2023-8-16>
13. Keshmiry, A., & Hassani, S. (2025). Human-Centric design principles in Industry 4.0 and Industry 5.0. In *Auerbach Publications eBooks* (pp. 275–290). <https://doi.org/10.1201/9781003533023-11>
14. Rodríguez, M., & Camacho, J. A. (2025). Renewable energy adoption in european small and medium-sized enterprises: A comparative sectoral analysis. *Cleaner Energy Systems*, 13, 100227. <https://doi.org/10.1016/j.cles.2025.100227>
15. Wolf, L. (2025). Navigating the energy transition: A review of factors influencing renewable energy investments. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 228, 116416. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2025.116416>

16. Wu, J.J., Vijayamohan, V. & Field, R.W. On the potential of ocean energy technologies to contribute to future sustainability. *Discov Sustain* 6, 741 (2025). <https://doi.org/10.1007/s43621-025-01676-x>
17. Jia, W., Ding, T., & He, Y. (2026). Synergistic integration of green hydrogen in renewable power systems: A comprehensive review of key technologies, research landscape, and future perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 226, 116375. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2025.116375>
18. Лобойченко В.М., Шевченко Р. І., Стрілець В.М. Використання альтернативних енергоносіїв для морського транспорту як складова енергетичної безпеки країн Балто-Чорноморського регіону. Одеський державний університет внутрішніх справ, 2023. Морська безпека Балто-Чорноморського регіону: виклики та загрози (20 грудня 2023 р., Одеса). Рига, Латвія: Baltija Publishing, 2023. С. 145-148.
19. Sun, C., Feng, L., Chen, Y., Ju, X., & Zhao, T. (2026). Renewable energy for domestic hot water production: Advances, challenges, and future directions - A systematic review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 226, 116282. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2025.116282>
20. Loboichenko V., Iranzo, A., Casado-Manzano, M., Navas, S. J., Pino, F. J., & Rosa, F. Study of the use of biogas as an energy vector for microgrids. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 2024, 200, 114574–114574. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114574>
21. Ana Rita Amaral, Eugénio Rodrigues, Adélio Rodrigues Gaspar, Álvaro Gomes, A review of empirical data of sustainability initiatives in university campus operations, *Journal of Cleaner Production*, Volume 250, 2020, 119558, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119558>
22. Wood, E. (2023, March 13). *What is a microgrid?* Microgrid Knowledge. Retrieved from <https://microgridknowledge.com/what-is-a-microgrid>
23. Ronald Muhumuza, Aggelos Zacharopoulos, Jayanta Deb Mondol, Mervyn Smyth, Adrian Pugsley, Energy consumption levels and technical approaches for supporting development of alternative energy technologies for rural sectors of developing countries, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 97, 2018, Pages 90-102, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.08.021>.
24. Jouni K. Juntunen, Mari Martiskainen, Improving understanding of energy autonomy: A systematic review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 141, 2021, 110797, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110797>
25. Nouha Dkhili, Julien Eynard, Stéphane Thil, Stéphane Grieu, A survey of modelling and smart management tools for power grids with prolific distributed generation, *Sustainable Energy, Grids and Networks*, Volume 21, 2020, 100284, <https://doi.org/10.1016/j.segan.2019.100284>.
26. Saima Ishaq, Irfan Khan, Syed Rahman, Tanveer Hussain, Atif Iqbal, Rajvikram Madurai Elavarasan, A review on recent developments in control and optimization of micro grids, *Energy Reports*, Volume 8, 2022, Pages 4085-4103, <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.01.080>.
27. Negi, G. S., Mohan, H., Gupta, M. K., Singh, R., Gehlot, A., Thakur, A. K., Dogra, S., & Gupta, L. R. (2026). Leveraging machine learning for optimized microgrid management: Advances, applications, challenges, and future directions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 226, 116345. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2025.116345>
28. Sarin, G., Srivastava, A., Srivastava, I., Bhattacharjee, S., Gujran, S., & Yogendra Sai Reddy, Y. (2025). Renewable microgrid optimization using AI: A B-SLR approach and future research directions. *Energy Reports*, 14, 4963–4975. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2025.11.087>
29. Limouni, T., Yaagoubi, R., Bouziane, K., Guissi, K., & Baali, E. H. (2025). A comprehensive review of microgrid control methods: Focus on AI, optimization, and predictive techniques. *Computers and Electrical Engineering*, 125, 110442. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2025.110442>
30. Hadi, M., Elbouchikhi, E., Zhou, Z., Saim, A., Shafie-khah, M., Siano, P., Rahbarimagham, H., & Marti Colom, P. (2025). Artificial intelligence for microgrids design, control, and maintenance: A comprehensive review and prospects. *Energy Conversion and Management: X*, 27, 101056. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2025.101056>
31. Lubna Mariam, Malabika Basu, Michael F. Conlon, Microgrid: Architecture, policy and future trends, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 64, 2016, Pages 477-489, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.06.037>
32. Shaun Howell, Yacine Rezgoui, Jean-Laurent Hippolyte, Bejay Jayan, Haijiang Li, Towards the next generation of smart grids: Semantic and holonic multi-agent management of distributed energy resources, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 77, 2017, Pages 193-214, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.107>.
33. Pengcheng Pan, Yuwei Sun, Chengqing Yuan, Xinpeng Yan, Xujing Tang, Research progress on ship power systems integrated with new energy sources: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 144, 2021, 111048, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111048>
34. Fukang Ren, Ziqing Wei, Xiaoqiang Zhai, A review on the integration and optimization of distributed energy systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 162, 2022, 112440, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112440>
35. Shebaz A. Memon, Rajesh N. Patel, An overview of optimization techniques used for sizing

of hybrid renewable energy systems, *Renewable Energy Focus*, Volume 39, 2021, Pages 1-26, <https://doi.org/10.1016/j.ref.2021.07.007>

36. Maria Luisa Di Silvestre, Salvatore Favuzza, Eleonora Riva Sanseverino, Gaetano Zizzo, How Decarbonization, Digitalization and Decentralization are changing key power infrastructures, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 93, 2018, Pages 483-498, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.05.068>

37. P. Motevakeh et al. Strategic Resource Planning for Sustainable Biogas Integration in Hybrid Renewable Energy Systems. *Applied Sciences*. 2025. Vol. 15, no. 2. P. 642. URL: <https://doi.org/10.3390/app15020642> (date of access: 25.09.2025).

38. Behrendt, J. (2023). Microgrids and EU law: Three Microgrid models to solve one regulatory puzzle. *Energy Policy*, 177, 113483. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2023.113483>

39. Microgrid Safety: A Critical Element of Sustainable Energy. UL Solutions. <https://www.ul.com/resources/microgrid-safety-critical-element-sustainable-energy>

40. C. Mukherjee, J. Denney, E.G. Mbonimpa, J. Slagley, R. Bhowmik, A review on municipal solid waste-to-energy trends in the USA, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 119, 2020, 109512, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109512>

41. Gonzalez-de-Durana, J., Rabelo, L., Zamora-Aguas, J., Rincon-Guio, C. (2026). Preliminary Modeling of Cyber Attackers in Microgrids: An Agent-Based and System Dynamics Approach Enhanced with Statecharts. In: Florez, H., Rabelo, L., Diaz, C. (eds) *Industrial Engineering and Operations Management. IEOM-CS 2025. Communications in Computer and Information Science*, vol 2557. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-98235-4_22

42. Fakhrooian, M., Basem, A., Gholami, M.M. et al. An artificial insurance framework for a hydrogen-based microgrid to detect the advanced cyberattack model. *Sci Rep* 15, 3762 (2025). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-88090-5>

43. Mai, V. T., Mohammadzadeh, A., Alattas, K. A., Taghavifar, H., & Ghaderpour, E. (2025). Cybersecurity in maritime power systems: A comprehensive review of cyber threats and mitigation techniques. *Electric Power Systems Research*, 247, 111797. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2025.111797>

44. Bouslimani M, Benbouzid-Si Tayeb F, Amirat Y, Benbouzid M. Cyber-Physical Security in Smart Grids: A Comprehensive Guide to Key Research Areas, Threats, and Countermeasures. *Applied Sciences*. 2025; 15(23):12367. <https://doi.org/10.3390/app152312367>

45. Zhao, A.P., Huo, D. and Alhazmi, M. (2025), Unmanned Aerial Vehicles in Microgrid

Defense. *IET Renew. Power Gener.*, 19: e70089. <https://doi.org/10.1049/rpg2.70089>

46. Zhao, A. P., & Xie, D. (2025). Fire-Resilient microgrids for California. *IET Smart Energy Systems*, 1(1), 73–93. <https://doi.org/10.1049/ses2.70005>

47. Park J-H, Park S-Y. Research on Power Efficiency of DC Microgrids Considering Fire Protection Systems. *Energies*. 2025; 18(2):230. <https://doi.org/10.3390/en18020230>

48. Maraey, A. B., Kotb, M. F., Ghanem, A., & Elgohary, M. (2026). Energy management systems in microgrids and future prospects application in nuclear power plants: a review. *Annals of Nuclear Energy*, 226, 111904. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2025.111904>

49. Abedi, M. M., Haghifam, M. R., Baghaee, H. R., Shafie-Khah, M., & Siano, P. (2025). Protection strategies for ADNs: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 226, 116224. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2025.116224>

50. Yadav, G. K., Kirar, M. K., & Gupta, S. (2025). Microgrids protection: A review of technologies, challenges, and future trends. *Renewable Energy Focus*, 55, 100720. <https://doi.org/10.1016/j.ref.2025.100720>

51. Rong, J., Liu, W., Jiang, F., & Yang, Y. (2025). Imitation-assisted safe reinforcement learning strategy for microgrid fault restoration. *Applied Soft Computing*, 114031. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2025.114031>

52. Khanum, N.u.M., Bansal, R.C. (2026). Artificial Intelligence Techniques for Short-Term Load Forecasting in Microgrids. In: Bansal, R.C., Devedzic, V., Nayak, R., Agarwal, B., Tandon, A., Jain, P. (eds) *Advanced Computing Techniques in Engineering and Technology. ACTET 2025. Communications in Computer and Information Science*, vol 2543. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-95540-2_29

53. Liu, Z., Chen, Q., Liu, Z., Yang, S., Guo, W., Li, Z., & Zhang, W. (2026). Research on the influencing factors and evaluation methods of operation safety for photovoltaic-storage-charging-inspection integrated energy station. *Journal of Energy Storage*, 141, 119419. <https://doi.org/10.1016/j.est.2025.119419>

54. Yadav, S., Anand, R. Analysis of advancing paradigms of smart grid innovations, applications, challenges, future trends and strategic implementations. *Discov Appl Sci* 7, 1380 (2025). <https://doi.org/10.1007/s42452-025-07905-2>

References

1. Loboychenko, V. M., & Bukareva, O. V. (2024). Profesijni ryzyky v systemi upravlinnia bezpekoiu pratsi pry robotakh na suchasnykh pidpriemstvakh enerhetychnoi haluzi [Occupational

risks in the occupational safety management system at modern energy sector enterprises]. In Proceedings of the 3rd International Scientific and Practical Conference “OSHAgro–2024” (pp. 116–118). Kyiv, Ukraine.

2. Abbasian Hamedani, E., Alenabi, S. A., & Talebi, S. (2024). Hydrogen as an energy source: A review of production technologies and challenges of fuel cell vehicles. *Energy Reports*, 12, 3778–3794. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2024.09.030>

3. Loboichenko, V., Casado-Manzano M., , Navas S.J., Toharias B., , Felipe R., Iranzo A. Ammonia as energy source for solid oxide fuel cell technology, *Energy Reports*, 2025, 13, 5828–5847. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2025.05.020>

4. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2024, November 29). Some issues of ensuring the achievement of the Sustainable Development Goals in Ukraine (Order No. 1190-r). Legislation of Ukraine database. <https://zakon.rada.gov.ua/go/1190-2024-%D1%80>

5. *Renewable energy – powering a safer and prosperous future*. United Nations. from <https://www.un.org/hi/node/177543>

6. Loboychenko, V. M. (2025). Suchasni tekhnolohii v pozhezhohasinni yak skladova zabezpechennia promyslovoi bezpeky ta okhorony pratsi v kontseptsii Industrii 5.0 [Modern fire suppression technologies as a component of industrial safety and occupational safety in the Industry 5.0 concept]. In Proceedings of the V All-Ukrainian Scientific and Practical Conference of Lecturers and Practitioners and the XV All-Ukrainian Scientific and Practical Conference of Cadets, Students, PhD Candidates, and Adjuncts (pp. 22–24). Lviv State University of Life Safety.

7. Krasnoshapka, A., & Fokina-Mezentseva, K. (2025). Kharakterystyka ta analiz osoblyvosti transformatsii vid Industrii 4.0 do Industrii 5.0 ta suspilstva 5.0 [Characteristics and analysis of the transformation from Industry 4.0 to Industry 5.0 and Society 5.0]. *Molodyi vchenyi*, (1), 177–183. <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2025-1-132-8>

8. Energy-, Cost-, and Resource-Efficient IoT Hazard Detection System with Adaptive Monitoring / C. L. Kok et al. *Sensors*. 2025. Vol. 25, no. 6. P. 1761. URL: <https://doi.org/10.3390/s25061761> (date of access: 12.04.2025).

9. Hybrid Machine Learning-Based Fault-Tolerant Sensor Data Fusion and Anomaly Detection for Fire Risk Mitigation in IIoT Environment / J. Desikan et al. *Sensors*. 2025. Vol. 25, no. 7. P. 2146. URL: <https://doi.org/10.3390/s25072146>

10. C. L. Kok et al. Energy-, Cost-, and Resource-Efficient IoT Hazard Detection System with Adaptive Monitoring. *Sensors*. 2025. Vol. 25, no. 6. P. 1761. URL: <https://doi.org/10.3390/s25061761>

11. Biswas, A., & Roy, D. G. (2021). Metamorphosis of Industrial IoT using Deep Learning. In *Signals and communication technology* (pp. 1–30). https://doi.org/10.1007/978-981-16-6186-0_1

12. Zubkova, A., Maihurova, D., & Misiunia, R. (2023). Upravlinnia proiektamy tsyvrovoi transformatsii mizhnarodnykh pidpriemstv: kliuchovi vidminnosti Industrii 4.0 ta 5.0 [Project management of digital transformation of international enterprises: Key differences between Industry 4.0 and Industry 5.0]. Modeling the Development of the Economic Systems, (2), 120–130. <https://doi.org/10.31891/mdes/2023-8-16>

13. Keshmiry, A., & Hassani, S. (2025). Human-Centric design principles in Industry 4.0 and Industry 5.0. In Auerbach Publications eBooks (pp. 275–290). <https://doi.org/10.1201/9781003533023-11>

14. Rodríguez, M., & Camacho, J. A. (2025). Renewable energy adoption in european small and medium-sized enterprises: A comparative sectoral analysis. *Cleaner Energy Systems*, 13, 100227. <https://doi.org/10.1016/j.cles.2025.100227>

15. Wolf, L. (2025). Navigating the energy transition: A review of factors influencing renewable energy investments. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 228, 116416. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2025.116416>

16. Wu, J.J., Vijayamohan, V. & Field, R.W. On the potential of ocean energy technologies to contribute to future sustainability. *Discov Sustain* 6, 741 (2025). <https://doi.org/10.1007/s43621-025-01676-x>

17. Jia, W., Ding, T., & He, Y. (2026). Synergistic integration of green hydrogen in renewable power systems: A comprehensive review of key technologies, research landscape, and future perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 226, 116375. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2025.116375>

18. Loboychenko, V. M., Shevchenko, R. I., & Strilets, V. M. (2023). Vykorystannia alternatyvnykh enerhonosiiv dlia morskoho transportu yak skladova enerhetychnoi bezpeky krain Balto-Chornomorskoho rehionu [Use of alternative energy carriers for maritime transport as a component of energy security of the Baltic–Black Sea region countries]. In *Maritime security of the Baltic–Black Sea region: Challenges and threats* (pp. 145–148). Baltija Publishing.

19. Sun, C., Feng, L., Chen, Y., Ju, X., & Zhao, T. (2026). Renewable energy for domestic hot water production: Advances, challenges, and future directions - A systematic review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 226, 116282. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2025.116282>

20. Loboichenko V., Iranzo, A., Casado-Manzano, M., Navas, S. J., Pino, F. J., & Rosa, F. Study of the use of biogas as an energy

vector for microgrids. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 2024, 200, 114574–114574. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114574>

21. Ana Rita Amaral, Eugénio Rodrigues, Adélio Rodrigues Gaspar, Álvaro Gomes, A review of empirical data of sustainability initiatives in university campus operations, *Journal of Cleaner Production*, Volume 250, 2020, 119558, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119558>

22. Wood, E. (2023, March 13). *What is a microgrid?* Microgrid Knowledge. Retrieved from <https://microgridknowledge.com/what-is-a-microgrid>

23. Ronald Muhumuza, Aggelos Zacharopoulos, Jayanta Deb Mondol, Mervyn Smyth, Adrian Pugsley, Energy consumption levels and technical approaches for supporting development of alternative energy technologies for rural sectors of developing countries, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 97, 2018, Pages 90-102, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.08.021>.

24. Jouni K. Juntunen, Mari Martiskainen, Improving understanding of energy autonomy: A systematic review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 141, 2021, 110797, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110797>

25. Nouha Dkhili, Julien Eynard, Stéphane Thil, Stéphane Grieu, A survey of modelling and smart management tools for power grids with prolific distributed generation, *Sustainable Energy, Grids and Networks*, Volume 21, 2020, 100284, <https://doi.org/10.1016/j.segan.2019.100284>.

26. Saima Ishaq, Irfan Khan, Syed Rahman, Tanveer Hussain, Atif Iqbal, Rajvikram Madurai Elavarasan, A review on recent developments in control and optimization of micro grids, *Energy Reports*, Volume 8, 2022, Pages 4085-4103, <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.01.080>.

27. Negi, G. S., Mohan, H., Gupta, M. K., Singh, R., Gehlot, A., Thakur, A. K., Dogra, S., & Gupta, L. R. (2026). Leveraging machine learning for optimized microgrid management: Advances, applications, challenges, and future directions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 226, 116345. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2025.116345>

28. Sarin, G., Srivastava, A., Srivastava, I., Bhattacharjee, S., Gujran, S., & Yogendra Sai Reddy, Y. (2025). Renewable microgrid optimization using AI: A B-SLR approach and future research directions. *Energy Reports*, 14, 4963–4975. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2025.11.087>

29. Limouni, T., Yaagoubi, R., Bouziane, K., Guissi, K., & Baali, E. H. (2025). A comprehensive review of microgrid control methods: Focus on AI, optimization, and predictive techniques. *Computers and Electrical Engineering*, 125, 110442. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2025.110442>

30. Hadi, M., Elbouchikhi, E., Zhou, Z., Saim, A., Shafie-khah, M., Siano, P., Rahbarimaghani, H.,

& Marti Colom, P. (2025). Artificial intelligence for microgrids design, control, and maintenance: A comprehensive review and prospects. *Energy Conversion and Management: X*, 27, 101056. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2025.101056>

31. Lubna Mariam, Malabika Basu, Michael F. Conlon, Microgrid: Architecture, policy and future trends, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 64, 2016, Pages 477-489, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.06.037>

32. Shaun Howell, Yacine Rezgui, Jean-Laurent Hippolyte, Bejay Jayan, Haijiang Li, Towards the next generation of smart grids: Semantic and holonic multi-agent management of distributed energy resources, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 77, 2017, Pages 193-214, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.107>.

33. Pengcheng Pan, Yuwei Sun, Chengqing Yuan, Xinping Yan, Xujing Tang, Research progress on ship power systems integrated with new energy sources: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 144, 2021, 111048, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111048>

34. Fukang Ren, Ziqing Wei, Xiaoqiang Zhai, A review on the integration and optimization of distributed energy systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 162, 2022, 112440, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112440>

35. Shebaz A. Memon, Rajesh N. Patel, An overview of optimization techniques used for sizing of hybrid renewable energy systems, *Renewable Energy Focus*, Volume 39, 2021, Pages 1-26, <https://doi.org/10.1016/j.ref.2021.07.007>

36. Maria Luisa Di Silvestre, Salvatore Favuzza, Eleonora Riva Sanseverino, Gaetano Zizzo, How Decarbonization, Digitalization and Decentralization are changing key power infrastructures, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 93, 2018, Pages 483-498, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.05.068>

37. P. Motevakel et al. Strategic Resource Planning for Sustainable Biogas Integration in Hybrid Renewable Energy Systems. *Applied Sciences*. 2025. Vol. 15, no. 2. P. 642. URL: <https://doi.org/10.3390/app15020642> (date of access: 25.09.2025).

38. Behrendt, J. (2023). Microgrids and EU law: Three Microgrid models to solve one regulatory puzzle. *Energy Policy*, 177, 113483. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2023.113483>

39. Microgrid Safety: A Critical Element of Sustainable Energy. UL Solutions. <https://www.ul.com/resources/microgrid-safety-critical-element-sustainable-energy>

40. C. Mukherjee, J. Denney, E.G. Mbonimpa, J. Slagley, R. Bhowmik, A review on municipal solid waste-to-energy trends in the USA, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 119, 2020, 109512, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109512>

41. Gonzalez-de-Durana, J., Rabelo, L., Zamora-Aguas, J., Rincon-Guio, C. (2026). Preliminary Modeling of Cyber Attackers in Microgrids: An Agent-Based and System Dynamics Approach Enhanced with Statecharts. In: Florez, H., Rabelo, L., Diaz, C. (eds) Industrial Engineering and Operations Management. IEOM-CS 2025. Communications in Computer and Information Science, vol 2557. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-98235-4_22
42. Fakhrooieian, M., Basem, A., Gholami, M.M. et al. An artificial insurance framework for a hydrogen-based microgrid to detect the advanced cyberattack model. *Sci Rep* 15, 3762 (2025). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-88090-5>
43. Mai, V. T., Mohammadzadeh, A., Alattas, K. A., Taghavifar, H., & Ghaderpour, E. (2025). Cybersecurity in maritime power systems: A comprehensive review of cyber threats and mitigation techniques. *Electric Power Systems Research*, 247, 111797. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2025.111797>
44. Bouslimani M, Benbouzid-Si Tayeb F, Amirat Y, Benbouzid M. Cyber-Physical Security in Smart Grids: A Comprehensive Guide to Key Research Areas, Threats, and Countermeasures. *Applied Sciences*. 2025; 15(23):12367. <https://doi.org/10.3390/app152312367>
45. Zhao, A.P., Huo, D. and Alhazmi, M. (2025), Unmanned Aerial Vehicles in Microgrid Defense. *IET Renew. Power Gener.*, 19: e70089. <https://doi.org/10.1049/rpg2.70089>
46. Zhao, A. P., & Xie, D. (2025). Fire-Resilient microgrids for California. *IET Smart Energy Systems*, 1(1), 73–93. <https://doi.org/10.1049/ses2.70005>
47. Park J-H, Park S-Y. Research on Power Efficiency of DC Microgrids Considering Fire Protection Systems. *Energies*. 2025; 18(2):230. <https://doi.org/10.3390/en18020230>
48. Maraey, A. B., Kotb, M. F., Ghanem, A., & Elgohary, M. (2026). Energy management systems in microgrids and future prospects application in nuclear power plants: a review. *Annals of Nuclear Energy*, 226, 111904. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2025.111904>
49. Abedi, M. M., Haghifam, M. R., Baghaee, H. R., Shafie-Khah, M., & Siano, P. (2025). Protection strategies for ADNs: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 226, 116224. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2025.116224>
50. Yadav, G. K., Kirar, M. K., & Gupta, S. (2025). Microgrids protection: A review of technologies, challenges, and future trends. *Renewable Energy Focus*, 55, 100720. <https://doi.org/10.1016/j.ref.2025.100720>
51. Rong, J., Liu, W., Jiang, F., & Yang, Y. (2025). Imitation-assisted safe reinforcement learning strategy for microgrid fault restoration. *Applied Soft Computing*, 114031. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2025.114031>
52. Khanum, N.u.M., Bansal, R.C. (2026). Artificial Intelligence Techniques for Short-Term Load Forecasting in Microgrids. In: Bansal, R.C., Devedzic, V., Nayak, R., Agarwal, B., Tandon, A., Jain, P. (eds) Advanced Computing Techniques in Engineering and Technology. ACTET 2025. Communications in Computer and Information Science, vol 2543. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-95540-2_29
53. Liu, Z., Chen, Q., Liu, Z., Yang, S., Guo, W., Li, Z., & Zhang, W. (2026). Research on the influencing factors and evaluation methods of operation safety for photovoltaic-storage-charging-inspection integrated energy station. *Journal of Energy Storage*, 141, 119419. <https://doi.org/10.1016/j.est.2025.119419>
54. Yadav, S., Anand, R. Analysis of advancing paradigms of smart grid innovations, applications, challenges, future trends and strategic implementations. *Discov Appl Sci* 7, 1380 (2025). <https://doi.org/10.1007/s42452-025-07905-2>

Лобойченко Валентина Михайлівна – доктор техн. наук, професор кафедри цивільної безпеки, Луцький національний технічний університет (вул. Львівська, 75, Луцьк, Волинська область, 43018, Україна), Університет Севілья, Севілья, (Camino de los Descubrimientos s/n., 41092 Севілья)

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

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

Хмиров Ігор Михайлович – доктор наук з державного управління, доцент, доцент кафедри управління у сфері цивільного захисту, Національний університет цивільного захисту України, вул. Онопрієнко, 8, м. Черкаси, Україна

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7958-463X>

E-mail: khmyrov7771@gmail.com

Соломчук Марія Сергіївна – здобувачка III курсу спеціальності «Цивільна безпека», Луцький національний технічний університет (вул. Львівська, 75, Луцьк, Волинська область, 43018, Україна).

**CIVIL PROTECTION IN THE CONTEXT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT AND
INDUSTRY 5.0: CHALLENGES FOR RENEWABLE ENERGY (THE CASE OF MICROGRIDS)**

Purpose. The purpose of the paper: to identify the main risk factors affecting the functioning of microgrids in order to reduce the level of civil danger at these enterprises within Ukraine and to suggest ways to minimize them.

Research methods: literary analysis, theoretical study of available information, use of methods of analysis and synthesis, induction and deduction, systematization and generalization, methods of formal logic.

Results. The paper notes the need to move away from fossil resources and transition countries to the use of renewable energy sources within the framework of achieving the Sustainable Development Goals, accents the digital transformation of society and the transition to the concept of Industry 5.0. The features of the structure of microgrids as one of the key enterprises of renewable energy within the framework of ensuring sustainable development and Industry 5.0 are analyzed. Their composition and features of functioning are noted, including the use of artificial intelligence in the management of microgrids. The existing problems (technical, economic, legal, cyber threats) are highlighted, as well as the potential for implementation in the energy system of Ukraine.

Scientific novelty. According to the results of the work, the main directions of gradation of microgrids were proposed and structured, the main risk factors in the operation of microgrids of various designs were noted and analyzed, the gradation of the main directions was outlined for the first time, in which an increase in the level of civil danger can be observed during the operation of microgrids within Ukraine, which is a scientific novelty of the study.

Practical significance. Taking into account the identified risk factors, ways to minimize the level of civil danger are proposed, which is a practical result of this study. Timely implementation of the proposed measures when introducing microgrids into the energy system of Ukraine is expected to contribute to its further post-war restoration and sustainable development within Industry 5.0. The results obtained are of an applied nature and will be useful to a wide range of specialists in the field of civil protection, labor protection, energy and environmental protection in the development and implementation of microgrids in the energy sector of Ukraine.

Keywords: microgrid, civil security, artificial intelligence, renewable energy, environmental protection, cyber threats.

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

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

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

Ihor Khmyrov – Doctor of Science in Public Administration, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Civil Protection Management, National University of Civil Protection of Ukraine, Onoprienko str., 8, Cherkasy, Ukraine

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7958-463X>

E-mail: khmyrov7771@gmail.com

Maria Solomchuk – third-year student majoring in Civil Security, Lutsk National Technical University (75 Lvivska St., Lutsk, Volyn Oblast, 43018, Ukraine).

ВПЛИВ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА МЕНТАЛЬНЕ ЗДОРОВ'Я НАСЕЛЕННЯ В УМОВАХ ВІЙНИ

Мета. Метою статті є комплексний аналіз впливу інформаційних технологій на ментальне здоров'я населення в умовах війни, а також обґрунтування ролі цифрового інформаційного середовища як чинника ризику та підтримки психосоціальної стійкості населення під час надзвичайних ситуацій.

Методи дослідження. У процесі дослідження використано комплекс загальнонаукових і спеціальних методів, що забезпечують системний аналіз проблеми впливу інформаційних технологій на ментальне здоров'я населення в умовах війни.

Результати. У результаті проведеного дослідження обґрунтовано, що цифрові інструменти перевірки можуть виконувати профілактичну функцію щодо зниження психосоціальних ризиків. Водночас встановлено наявність суттєвих обмежень у їх використанні для значної частини населення з низьким рівнем цифрової та медіаграмотності, що підтверджує необхідність адаптації таких інструментів до потреб широкого кола користувачів.

Запропоновано концептуальні підходи до створення доступних інструментів швидкої перевірки достовірності інформації, орієнтованих на простоту використання, візуальну зрозумілість та мінімізацію когнітивного навантаження. Доведено доцільність інтеграції таких рішень у повсякденні цифрові середовища (браузери, месенджери), що підвищує їх ефективність як елементів психосоціального захисту.

Визначено перспективність застосування технологій штучного інтелекту для автоматизованого аналізу контенту та виявлення дезінформації. Використання ШІ сприяє зменшенню інформаційного перевантаження та тривожності.

Наукова новизна. Полягає у проведенні дослідження впливу інформаційних технологій на ментальне здоров'я населення в умовах воєнного стану.

Практична значимість. Результати дослідження можуть бути використані при розробці державних і регіональних програм психосоціального захисту, підтримки ментального здоров'я, а також освітніх ініціатив у сфері медіаграмотності та інформаційної безпеки.

Ключові слова: інформаційні технології, ментальне здоров'я, медіаграмотність, соціальні медіа, штучний інтелект.

Вступ.

В умовах процесу діджиталізації суспільства інформаційні технології (ІТ-технології) стали невід'ємною частиною повсякденного життя. Вони забезпечують швидкий доступ до новин, можливість спілкування та обміну думками, але водночас створюють нові виклики для ментального здоров'я. Особливо це стало актуальним під час війни в Україні, коли інформаційний потік суттєво зріс, а емоційний стан населення зазнав значних змін.

В умовах повномасштабної війни проблема забезпечення ментального здоров'я набуває комплексного характеру та виходить за межі традиційного розуміння фізичного захисту населення. Поряд із загрозами техногенного, воєнного та природного характеру зростає роль психосоціальних чинників, які безпосередньо впливають на психологічну стійкість населення. Особливого значення в цьому контексті набуває ментальне здоров'я як ключовий компонент національної та

індивідуальної безпеки, що визначає здатність людини адекватно реагувати на небезпеки, приймати рішення та діяти в умовах стресу [1; 2].

Стрімкий розвиток інформаційних технологій, цифрових комунікацій та соціальних медіа істотно трансформували інформаційне середовище, у якому перебуває населення під час війни. З одного боку, ІТ забезпечують оперативне інформування, координацію дій, доступ до психологічної допомоги та підтримки. З іншого боку, надмірне споживання інформації, поширення дезінформації, фейкових новин та інформаційно-психологічних операцій створюють додаткові ризики для психічного здоров'я та знижують рівень безпеки життєдіяльності населення [3; 4; 5].

Отже, дослідження впливу інформаційних технологій на ментальне здоров'я населення в умовах війни є актуальним завданням. Отримані результати можуть бути використані для досягнення цілей сталого розвитку, вдосконалення

систем управління ризиками та формування культури безпеки в умовах інформаційних і воєнних загроз.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Проблематика ментального здоров'я в умовах надзвичайних ситуацій та воєнних конфліктів ґрунтовно висвітлюється в роботах міжнародних організацій і науковців. Всесвітня організація охорони здоров'я наголошує, що психічне здоров'я є критично важливим чинником життєстійкості населення під час надзвичайних ситуацій і має розглядатися як складова системи реагування на прояви надзвичайних ситуацій [1; 2]. У дослідженнях S.E. Hobfoll та співавторів обґрунтовано базові елементи психосоціальної підтримки в умовах катастроф та масового насильства, зокрема відчуття безпеки, спокою та соціальної підтримки, які значною мірою залежать від інформаційного середовища [6].

Вітчизняні наукові дослідження останніх років дедалі більше акцентують увагу на взаємозв'язку між умовами праці та психічним здоров'ям у період воєнного стану. У працях В. Федорчук-Мороз та М. Рудинця розглянуто питання підвищення культури безпеки та зниження психосоціальних ризиків, що виникають унаслідок постійного стресу й інформаційного навантаження [7]. Аналогічні аспекти аналізуються в роботі В. Федорчук-Мороз і Л. Бондарчук, де підкреслюється вплив психоемоційних чинників на безпеку праці та функціональну надійність працівників в умовах війни [8].

У працях Н.О. Петрової та О.М. Іванова соціальні медіа розглядаються як потужний інструмент впливу на свідомість, що може як сприяти згуртованості суспільства, так і підвищувати рівень соціальної напруги [4; 9]. Дослідження А.П. Шевченка та В.І. Коваленка підтверджують зростання психоемоційних ризиків серед населення, зокрема молоді, внаслідок постійного впливу воєнного медіаконтенту [5; 10].

Rasmus Andersson встановив, що надмірне споживання новин під час надзвичайних ситуацій може спричиняти підвищення рівня тривоги та депресивних симптомів, що є релевантним і для умов воєнного часу [3].

Окремий напрям наукових досліджень присвячено впливу інформаційного середовища та цифрових комунікацій на психічний стан людини. Дослідження Р. Valkenburg і J. Peter доводять, що онлайн-комунікація має як позитивні, так і негативні наслідки, залежно від інтенсивності використання та характеру контенту [11].

Українські науковці також аналізують роль соціальних мереж у формуванні громадської думки та психоемоційного стану населення в умовах інформаційних атак.

Водночас у сучасних публікаціях наголошується на важливості використання інформаційних технологій як інструменту мінімізації негативного впливу інформаційних загроз. Матеріали Міністерства охорони здоров'я України акцентують увагу на необхідності формування навичок критичного сприйняття інформації та цифрової гігієни [12].

Практичні рекомендації щодо оцінювання достовірності інформації, запропоновані Google та українськими медіаекспертами, а також використання сервісів перевірки репутації вебресурсів і чат-ботів для виявлення фейкових новин (WOT, «Перевірка») розглядаються як перспективний напрям підвищення інформаційної та психосоціальної безпеки населення [13-16].

Аналіз останніх досліджень і публікацій свідчить, що проблема впливу інформаційних технологій на ментальне здоров'я в умовах війни є міждисциплінарною та недостатньо систематизованою. Це зумовлює потребу подальших досліджень, спрямованих на інтеграцію ІТ-рішень та механізмів управління ризиками з метою підвищення стійкості населення до сучасних воєнних та інформаційних загроз.

Мета статті.

Метою статті є комплексний аналіз впливу інформаційних технологій на ментальне здоров'я населення в умовах війни, а також обґрунтування ролі цифрового інформаційного середовища як чинника ризику та підтримки психосоціальної стійкості населення під час надзвичайних ситуацій.

У межах досягнення поставленої мети в роботі передбачається розв'язання таких науково-практичних завдань:

– проаналізувати сучасні наукові підходи до визначення ментального здоров'я та психосоціальних ризиків в умовах воєнного стану;

– дослідити особливості впливу цифрових інформаційних технологій, зокрема соціальних медіа та онлайн-новинних ресурсів, на психоемоційний стан населення в умовах постійної інформаційної напруги;

– визначити основні негативні та позитивні ефекти використання ІТ-технологій для ментального здоров'я населення в період війни, включаючи інформаційне перевантаження, поширення дезінформації та можливості отримання соціальної підтримки;

– узагальнити сучасні підходи до інформаційної гігієни, перевірки достовірності інформації та використання цифрових інструментів як складової психосоціального захисту населення;

– розробити практичні рекомендації щодо створення доступних інструментів швидкої перевірки достовірності інформації та застосування штучного інтелекту як складової психосоціального захисту населення.

Методи дослідження.

У процесі дослідження використано комплекс загальнонаукових і спеціальних методів, що забезпечують системний аналіз проблеми впливу інформаційних технологій на ментальне здоров'я населення в умовах війни.

Теоретичні методи включали аналіз, синтез, узагальнення та систематизацію наукових джерел досліджуваної проблеми. Метод порівняльного аналізу застосовувався для порівняння результатів вітчизняних і зарубіжних досліджень щодо впливу інформаційного середовища та медіаспоживання. Контент-аналіз інформаційних ресурсів і соціальних медіа використовувався для виявлення характерних ознак воєнного інформаційного контенту. Методи логічного аналізу та моделювання застосовувалися для визначення взаємозв'язку між рівнем інформаційного впливу, психоемоційним станом людини та безпековими наслідками для системи цивільного захисту.

Виклад основного матеріалу.

Сучасні наукові підходи до аналізу ментального здоров'я розглядають його як

багатовимірне явище, яке включає емоційний, психологічний та соціальний компоненти благополуччя. ВООЗ визначає психічне здоров'я не лише як відсутність психічних розладів, а як стан, за якого індивід здатний реалізовувати свої здібності, справлятися зі стресом, продуктивно працювати і вносити внесок у життя громади [1]. Таким чином, ментальне здоров'я – це не просто відсутність патологій, а динамічна здатність особистості адаптуватися до змін середовища, зокрема екстремальних (воєнних) ситуацій.

Психосоціальні ризики все частіше розглядаються як комплекс факторів, що порушують здатність індивіда зберігати психологічну рівновагу під впливом стресових обставин.

Сучасні підходи розглядають інформаційне середовище як окремий фактор психосоціального ризику. Інтернет-технології та соціальні мережі забезпечують миттєвий доступ до великого обсягу даних, що може бути як ресурсом для підтримки та взаємодопомоги, так і джерелом інформаційного перевантаження, фейків і маніпуляцій, які підсилюють страх, невпевненість і хронічний стрес. В межах сучасної науки формується підхід, що поєднує оцінювання якості інформаційних джерел, критичне мислення та медіаграмотність як захисні механізми проти психосоціальних ризиків під час екстремальних ситуацій (зокрема через сервіси перевірки інформації, такі як WOT, боти-фейкчекери, рекомендації Google) [13-16].

Особливостями впливу цифрових інформаційних технологій на психоемоційний стан населення є постійна інформаційна напруга, викликана надмірним обсягом новин, емоційно насиченим контентом та дезінформацією, яка створює значні ризики для психоемоційного стану людини. Психоемоційний стан населення в умовах війни характеризується підвищеною вразливістю до стресових чинників, серед яких інформаційний вплив посідає одне з провідних місць, оскільки цифрові платформи транслюють велику кількість повідомлень про небезпеку, втрати та загрози, що сприяє формуванню хронічного стресу, тривожних станів і симптомів емоційного вигорання [17].

Соціальні медіа як один із ключових компонентів цифрових інформаційних технологій мають подвійний вплив на психоемоційний стан населення. З одного боку, вони виконують функцію соціальної підтримки, дозволяючи підтримувати зв'язок з близькими, отримувати моральну допомогу та відчуття належності до спільноти. З іншого боку, алгоритмічні механізми поширення контенту сприяють концентрації уваги користувачів на емоційно насичених і часто негативних повідомленнях, що підсилює відчуття небезпеки та невизначеності [4].

Онлайн-новинні ресурси, які забезпечують оперативне інформування населення, також відіграють важливу роль у формуванні психоемоційного фону. Постійне оновлення новин, часто без фільтрації за рівнем психологічної значущості, призводить до ефекту інформаційного перевантаження. У таких умовах користувачі стикаються з труднощами критичної оцінки повідомлень, що підвищує ризик сприйняття дезінформації та фейкових новин, які можуть викликати панічні настрої та посилювати психосоціальні ризики [12]. Саме тому інформаційне середовище розглядається сучасними дослідниками як окремий фактор небезпеки населення [7].

Отже, можна стверджувати, що вплив цифрових інформаційних технологій на психоемоційний стан населення в умовах постійної інформаційної напруги має комплексний і суперечливий характер. З одного боку, соціальні медіа та онлайн-ресурси виступають важливим джерелом інформації та соціальної підтримки, з іншого – за відсутності належної регуляції та критичного сприйняття вони стають

потужним чинником психоемоційного виснаження, стресу та зростання психосоціальних ризиків. Це зумовлює необхідність інтеграції питань ментального здоров'я, інформаційної безпеки та цифрових технологій, а також розробки програм психоедукації та медіаграмотності, спрямованих на підвищення стійкості населення до інформаційних загроз в умовах воєнного стану.

Для зменшення негативних ефектів під час використання ІТ-технологій варто використовувати інструменти перевірки достовірності інформації. Практики критичного оцінювання контенту, рекомендовані міжнародними та національними організаціями, зокрема використання сервісів перевірки репутації сайтів (WOT), ботів фактчекінгу та рекомендацій щодо аналізу джерел інформації, сприяють зниженню рівня інформаційної тривоги та підвищенню психологічної стійкості населення [13-16]. Таким чином, інформаційні технології за наявності відповідних навичок можуть виконувати не лише деструктивну, а й профілактичну функцію щодо психічного здоров'я. Застосування даних інструментів потребує спеціальних навичок і відповідного рівня знань в області ІТ-технологій.

Однак існує проблема використання цих інструментів і сервісів окремими категоріями населення з низьким і нижчим за середній індексом медіаграмотності.

На рис. 1 представлено індекс медіаграмотності українців, згідно якого 48% населення України мають низький і нижчий за середній індекс медіаграмотності [14].



Рис. 1. Індекс медіаграмотності українців

Проблема перевірки достовірності інформації набуває особливої актуальності, зокрема для груп населення з низьким рівнем цифрової грамотності. У цьому контексті створення доступних, інтуїтивно зрозумілих цифрових інструментів швидкої перевірки інформації може розглядатися як важливий напрям психосоціального захисту та профілактики інформаційного стресу.

Нами запропоновано концепцію розробки і впровадження спрощених інструментів оцінки якості інформації, робота з якими не потребує спеціальних знань і навичок, орієнтованих на широке коло користувачів. Концепція передбачає:

- мінімум тексту, максимум візуальних індикаторів;
- відсутність необхідності реєстрації або складних налаштувань;

– робота «в один клік» або автоматично у фоновому режимі;

– зрозуміла інтерпретація результатів (не «ймовірність», а прості сигнали: безпечно / сумнівно / небезпечно).

Такі інструменти повинні мати мінімалістичний інтерфейс, обмежену кількість функцій та використовувати візуальні індикатори (наприклад, кольорове маркування рівня довіри до джерела: зелений – надійне, жовтий – сумнівне, червоний – небезпечно). Подібний підхід уже реалізується в сервісах оцінки репутації вебресурсів, зокрема WOT (Web of Trust) (рис. 2), який використовує статистичні оцінки та алгоритмічний аналіз для інформування користувачів про потенційні ризики вебсторінок [15].



Рис. 2. Сервіс оцінки репутації вебресурсів WOT (Web of Trust)

Для підвищення доступності таких рішень запропоновано інтегрувати інструменти перевірки безпосередньо в популярні браузері та месенджери, що підвищить зручність використання користувачами незалежно від їх рівня цифрової грамотності. Наприклад, розширення для браузерів може автоматично аналізувати відкриту новинну сторінку й виводити коротке повідомлення з поясненням: чи є джерело офіційним, чи має історію поширення фейкових новин, а також чи підтверджується інформація іншими авторитетними ресурсами. Такий підхід відповідає рекомендаціям щодо оцінювання онлайн-інформації, запропонованим Google та міжнародними організаціями з медіаграмотності [13; 14].

Окрему увагу слід приділяти локалізації та мовній простоті інструментів, оскільки складні технічні пояснення або іншомовний інтерфейс знижують ефективність використання цифрових засобів перевірки інформації. Для користувачів з низькою цифровою грамотністю важливо, щоб інструмент не вимагав додаткових дій, окрім натискання однієї кнопки щодо автоматичного аналізу контенту, а також додаткових втрат часу на оцінку контенту. Прикладом такого підходу є чат-боти для виявлення фейкових новин (рис. 3), які дозволяють користувачу переслати повідомлення або посилання та отримати просту відповідь щодо його достовірності [16].

Перспективним напрямом є застосування технологій штучного інтелекту

(ШІ) для автоматизованої перевірки достовірності інформації. Алгоритми машинного навчання здатні аналізувати великі масиви текстових даних, виявляти маніпулятивні мовні конструкції, емоційно забарвлені повідомлення та ознаки

дезінформації. Використання ШІ дозволяє не лише оцінювати джерело, а й аналізувати сам зміст повідомлення, порівнюючи його з даними з перевірених інформаційних баз та офіційних ресурсів [11].

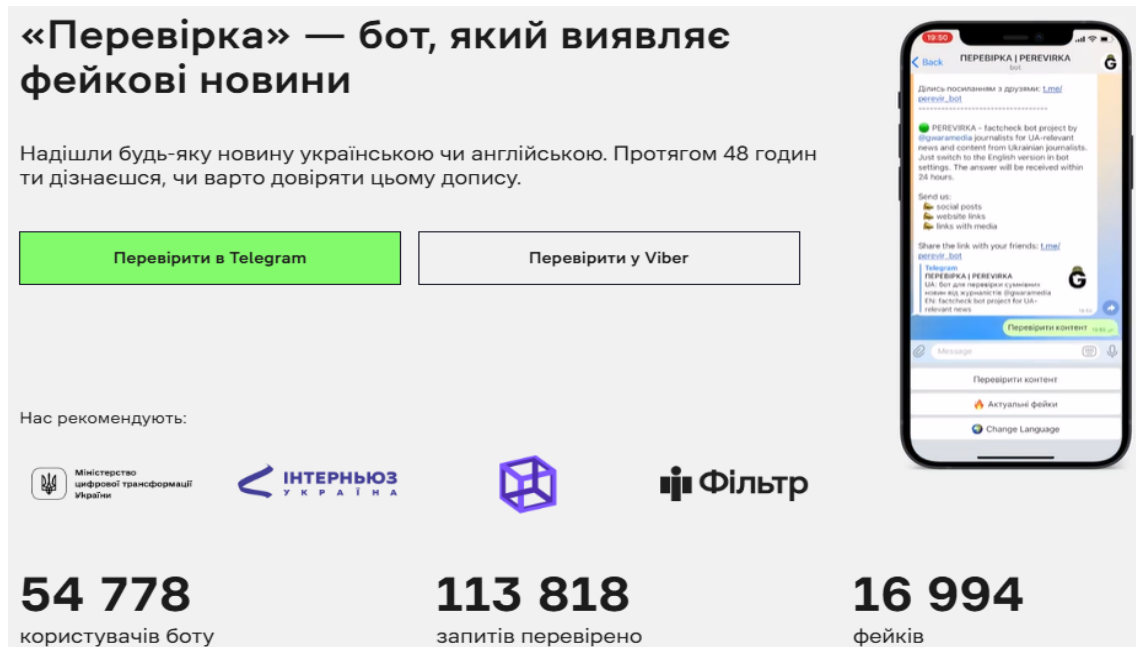


Рис.3. Чат-бот для виявлення фейкових новин

Застосування ШІ у сфері інформаційної безпеки має також важливий психосоціальний ефект, оскільки автоматизована фільтрація недостовірного контенту знижує рівень тривожності та інформаційного перевантаження користувачів. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, зменшення впливу травматичного та маніпулятивного медіаконтенту є одним із ключових чинників підтримки психічного здоров'я населення в умовах надзвичайних ситуацій [1]. Водночас ШІ-інструменти можуть бути інтегровані в програми психоедукації, навчаючи користувачів розпізнавати потенційно небезпечну інформацію та формувати навички критичного мислення.

Разом із тим наукові підходи наголошують, що використання ШІ для перевірки інформації не повинно повністю замінювати людське судження. Найбільш ефективною є гібридна модель, у якій автоматизовані алгоритми поєднуються з

експертною оцінкою та рекомендаціями з медіаграмотності. Такий підхід дозволить не лише технічно обмежувати поширення фейків, а й формувати у населення стійкість до інформаційних загроз, що є важливою складовою психосоціальної безпеки [5; 17].

Обговорення результатів.

Особливої актуальності інформаційна гігієна, в т.ч. медіаграмотність, набуває в умовах воєнного стану, коли інформаційні потоки часто містять тривожні повідомлення, фейкові новини та пропагандистські матеріали, здатні викликати психологічний стрес у населення. У таких умовах ключового значення набуває своєчасна перевірка достовірності інформації з використанням цифрових інструментів.

Сучасні цифрові інструменти перевірки інформації реалізують різні підходи: одні ґрунтуються на алгоритмах краудсорсингу для оцінювання рівня довіри до вебсторінок, інші забезпечують

автоматизовану перевірку фактів або спираються на бази даних міжнародних і національних фактчекінгових організацій. Застосування таких інструментів сприяє не лише виявленню недостовірної інформації, а й формуванню у користувачів навичок критичного мислення, що є важливою складовою психосоціального захисту населення [18; 19].

В сучасних умовах інформаційна гігієна виконує не лише індивідуальну, а й колективну функцію, сприяючи формуванню стійкості суспільства до інформаційних загроз, зокрема маніпуляцій, фейкових новин і пропаганди. Вона стає важливою складовою психосоціального захисту населення, допомагаючи громадянам адаптуватися до умов потужного інформаційного тиску.

Таким чином, узагальнення сучасних підходів до інформаційної гігієни та цифрових інструментів перевірки достовірності інформації дозволяє визначити їх комплексну роль у підтримці психічного здоров'я населення. Вони виступають не лише технічними засобами фільтрації контенту, а й важливими елементами медіаграмотності та психосоціального захисту, сприяючи зниженню рівня тривожності та стресових реакцій у цифровому середовищі.

Висновки.

У результаті проведеного дослідження встановлено, що вплив інформаційних технологій на ментальне здоров'я населення в умовах війни має складний, багатовимірний і суперечливий характер.

З'ясовано, що сучасні наукові підходи розглядають ментальне здоров'я не лише як відсутність психічних розладів, а як динамічну здатність особистості адаптуватися до стресових і екстремальних умов, зокрема воєнного стану. Психосоціальні ризики в цих умовах посилюються під впливом інформаційного перенасичення, дезінформації, емоційно забарвленого контенту та маніпулятивних повідомлень, що поширюються через цифрові платформи.

Доведено, що соціальні медіа та онлайн-новинні ресурси мають подвійний вплив на психоемоційний стан населення. З одного боку, вони забезпечують доступ до оперативної інформації, підтримку соціальних зв'язків і відчуття причетності до спільноти, що є важливими факторами

психологічної підтримки в умовах війни. З іншого боку, надмірне споживання новин і контенту з високим рівнем емоційної напруги сприяє розвитку хронічного стресу, тривожних станів та емоційного виснаження.

Обґрунтовано, що цифрові інструменти перевірки можуть виконувати профілактичну функцію щодо зниження психосоціальних ризиків. Водночас встановлено наявність суттєвих обмежень у їх використанні для значної частини населення з низьким рівнем цифрової та медіаграмотності, що підтверджує необхідність адаптації таких інструментів до потреб широкого кола користувачів.

Запропоновано концептуальні підходи до створення доступних інструментів швидкої перевірки достовірності інформації, орієнтованих на простоту використання, візуальну зрозумілість та мінімізацію когнітивного навантаження. Доведено доцільність інтеграції таких рішень у повсякденні цифрові середовища (браузери, месенджери), що підвищує їх ефективність як елементів психосоціального захисту.

Визначено перспективність застосування технологій штучного інтелекту для автоматизованого аналізу контенту та виявлення дезінформації. Використання ШІ сприяє зменшенню інформаційного перевантаження та тривожності.

Загалом результати дослідження підтверджують, що інтеграція інформаційної гігієни, цифрових інструментів перевірки інформації та технологій штучного інтелекту є важливим напрямом підвищення психосоціальної стійкості населення в умовах війни.

Список літератури

1. World Health Organization. (2025). Mental health in emergencies – Режим доступу: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/mental-health-in-emergencies>
2. ВООЗ. Психічне здоров'я. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.who.int/mental_health/en/
3. Rasmus Andersson. Social Media and Mental Health During the COVID-19 Pandemic: The Protective Influence of Social Media Literacy. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1979672/FULLTEXT01.pdf>
4. Петрова, Н.О. Роль соціальних мереж у формуванні громадської думки в умовах

інформаційних криз / Н.О. Петрова. – Харків: ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2021. – 256 с.

5. Шевченко, А.П. Психічне здоров'я в умовах війни: вплив соціальних мереж / А.П. Шевченко. – Одеса: Одеський національний університет, 2022. – 172 с.

6. Hobfoll, S. E., et al. (2007). Five Essential Elements of Immediate and Mid-Term Mass Trauma Intervention: Empirical Evidence.

7. Федорчук-Мороз В., Рудинець М. Підвищення рівня культури безпеки та зниження психосоціальних ризиків на підприємствах в умовах воєнного стану // Вісті Донецького гірничого інституту. – 2024. – № 2. – С. 128-137.

8. Федорчук-Мороз В.І., Бондарчук Л.Ф. Безпека праці в контексті впливу окремих чинників психічного здоров'я працівників в умовах воєнного стану // Науковий вісник ДонНТУ. – 2023. – Вип. № 2(11). – С. 161-169.

9. Іванов, О.М. Соціальні медіа як новітній чинник комунікації: дослідження сучасних тенденцій / О.М. Іванов. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2019. – 180 с.

10. Коваленко, В.І. Вплив соціальних мереж на психічний стан молоді в умовах війни / В.І. Коваленко. – Київ: Академія управлінських наук, 2023. – 150 с.

11. Valkenburg, P.M. and Peter, J. (2011) Online Communication among Adolescents: An Integrated Model of Its Attraction, Opportunities, and Risks. Journal of Adolescent Health, 48, 121-127. <https://doi.org/10.1016/j.jadohealth.2010.08.020>

12. Вплив інформаційного середовища на психічне здоров'я та благополуччя [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://moz.gov.ua/uk/vpliv-informacijnogoseredovischa-na-psihichne-zdorov%E2%80%99ja-ta-blagopoluchchja>

13. Як оцінити знайдену через Google інформацію [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://support.google.com/websearch/answer/12003459?hl=uk>

14. Поради від Google. П'ять інструментів, за допомогою яких можна перевірити інформацію [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ms.detector.media/mediaosvita/post/26991/2021-04-02-porady-vid-google-pyat-instrumentiv-zadopomogoyu-yakym-mozhna-perevyryty-informatsiyu/>

15. WOT (Web of Trust) – Захист веб-сайту WOT та безпечний перегляд [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://chromewebstore.google.com/detail/wot-website-security-safe/bhmmomiinigofkjcapegjjndpbikblnp?hl=ua&pli=1>.

16. «Перевірка» – бот, який виявляє фейкові новини [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://cutt.ly/rtsiT3Vf>

17. Березанська, Т.В. Стрес і його вплив на психічне здоров'я людини: монографія / Т.В. Березанська. – К. : Наукова думка, 2020. – 208 с.

18. Інформаційна гігієна та психічне здоров'я : аналіт. звіт. ОБСЄ. URL: <https://www.osce.org/files/f/documents/f/e/596911.pdf>

19. Dubel M. V. Цифрова гігієна публічних службовців як важлива складова національної безпеки // Галицький вісник ТНТУ. 2025. Т. 95, № 4. С. 183-190. DOI: https://doi.org/10.33108/galicianvisnyk_tntu2025.04.183

References

1. World Health Organization. (2025). Mental health in emergencies – Available at: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/mental-health-in-emergencies>

2. WHO. Mental health. [Electronic resource]. – Available at: https://www.who.int/mental_health/en/

3. Rasmus Andersson. Social Media and Mental Health During the COVID-19 Pandemic: The Protective Influence of Social Media Literacy. [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1979672/FULLTEXT01.pdf>

4. Petrova, N.O. The role of social networks in shaping public opinion in times of information crises / N.O. Petrova. – Kharkiv: V.N. Karazin Kharkiv National University, 2021. – 256 p. (In Ukrainian).

5. Shevchenko, A.P. Mental health in wartime: the influence of social networks / A.P. Shevchenko. – Odessa: Odessa National University, 2022. – 172 p. (In Ukrainian).

6. Hobfoll, S.E., et al. (2007). Five Essential Elements of Immediate and Mid-Term Mass Trauma Intervention: Empirical Evidence.

7. Fedorchuk-Moroz, V., Rudynets, M. Improving the level of safety culture and reducing psychosocial risks at enterprises in conditions of martial law // News of the Donetsk Mining Institute. – 2024. – No. 2. – P. 128-137. (In Ukrainian).

8. Fedorchuk-Moroz, V.I., Bondarchuk, L.F. Occupational safety in the context of the impact of certain factors of mental health of employees in conditions of martial law // Scientific Bulletin of Donetsk National Technical University. – 2023. – Issue No. 2(11). – P. 161-169. (In Ukrainian).

9. Ivanov, O.M. Social media as a new factor in communication: a study of current trends / O.M. Ivanov. – Lviv: Lviv Polytechnic Publishing House, 2019. – 180 p. (In Ukrainian).

10. Kovalenko, V.I. The impact of social networks on the mental state of young people in wartime / V.I. Kovalenko. – Kyiv: Academy of Management Sciences, 2023. – 150 p. (In Ukrainian).

11. Valkenburg, P.M. and Peter, J. (2011) Online Communication among Adolescents: An Integrated Model of Its Attraction, Opportunities, and Risks. *Journal of Adolescent Health*, 48, 121-127. <https://doi.org/10.1016/j.jadohealth.2010.08.020>

12. The impact of the information environment on mental health and well-being [Electronic resource]. – Access mode: <https://moz.gov.ua/uk/vpliv-informacijnogoseredovischa-na-psihichne-zdorov%E2%80%99ja-ta-blagopoluchchja> (In Ukrainian).

13. How to evaluate information found through Google [Electronic resource]. – Access mode: <https://support.google.com/websearch/answer/12003459?hl=uk> (In Ukrainian).

14. Advice from Google. Five tools you can use to verify information [Electronic resource]. – Access mode: <https://ms.detector.media/mediaosvita/post/26991/2021-04-02-porady-vid-google-pyat-instrumentiv-zadopomogyu-yakym-mozhna-pereviryty-informatsiyu/> (In Ukrainian).

15. WOT (Web of Trust) – WOT website protection and safe browsing [Electronic resource]. –

Access mode: <https://chromewebstore.google.com/detail/wot-website-security-safe/bhmmomiinigofkjcapegjjndpbikblnp?hl=ua&pli=1> (In Ukrainian).

16. «Verification» – a bot that detects fake news [Electronic resource]. – Access mode: <https://cutt.ly/rtsiT3Vf> (In Ukrainian)

17. Berezanska, T.V. Stress and its impact on human mental health: monograph / T.V. Berezanska. – Kyiv: Naukova Dumka, 2020. – 208 p. (In Ukrainian).

18. Information hygiene and mental health: analytical report. OSCE. URL: <https://www.osce.org/files/f/documents/f/e/596911.pdf> (In Ukrainian).

19. Dubel M. V. Digital hygiene of public servants as an important component of national security // *Galician Herald of Ternopil National Technical University*. 2025. Vol. 95, No. 4. P. 183-190. DOI: https://doi.org/10.33108/galicianvisnyk_tntu2025.04.183 (In Ukrainian).

Рудинець Микола Віталійович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри цивільної безпеки, Луцький національний технічний університет (вулиця Львівська, 75, Луцьк, Волинська область, 43018, Україна) ORCID:<https://orcid.org/0000-0002-0793-5963>

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

Федорчук-Мороз Валентина Іванівна – канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри цивільної безпеки, Луцький національний технічний університет (вулиця Львівська, 75, Луцьк, Волинська область, 43018, Україна)

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

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

THE IMPACT OF INFORMATION TECHNOLOGIES ON THE MENTAL HEALTH OF THE POPULATION IN WAR CONDITIONS

Purpose. The purpose of the article is to provide a comprehensive analysis of the impact of information technologies on the mental health of the population in wartime, as well as to substantiate the role of the digital information environment as a risk factor and a factor supporting the psychosocial stability of the population during emergencies.

Research methods. The study uses a set of general scientific and special methods that provide a systematic analysis of the impact of information technologies on the mental health of the population in wartime.

Results. The study substantiates that digital verification tools can perform a preventive function in reducing psychosocial risks. At the same time, significant limitations in their use for a large part of the population with low levels of digital and media literacy have been identified, confirming the need to adapt such tools to the needs of a wide range of users.

Conceptual approaches to the creation of accessible tools for rapid verification of information reliability are proposed, focusing on ease of use, visual clarity and minimisation of cognitive load. The feasibility of integrating such solutions into everyday digital environments (browsers, messengers) has been proven, which increases their effectiveness as elements of psychosocial protection.

The prospects for the use of artificial intelligence technologies for automated content analysis and detection of disinformation have been identified. The use of AI helps to reduce information overload and anxiety.

Scientific novelty. It consists in conducting research on the impact of information technologies on the mental health of the population in conditions of martial law.

Practical significance. *The results of the study can be used in the development of state and regional programmes for psychosocial protection, mental health support, as well as educational initiatives in the field of media literacy and information security.*

Keywords: *information technologies, mental health, media literacy, social media, artificial intelligence.*

Mykola Rudynets – PhD (Engineering), Associate Professor of the Department of Civil Security, Lutsk National Technical University, Lvivska str., 75, Lutsk, Ukraine, 43018.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0793-5963>.

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

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

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

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

В.О. Тимочко
І.М. Городецький
О.О. Вісин

ВИРОБНИЧІ НЕБЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТУ ЕЛЕКТРОУСТАТКУВАННЯ

Мета. Метою роботи є обґрунтування переліку можливих чинників небезпек працівників під час виробничих процесів ремонту та обслуговування електроустановок та обґрунтування заходів щодо запобігання ним.

Методи дослідження. Методологія аналізу чинників небезпек під час виробничих процесів ремонту та обслуговування електроустановок ґрунтується на відомих методах аналізу ризику, яку широко застосовують у світовій практиці під час оцінки небезпек. Аналіз чинників небезпек передбачає дослідження несприятливих наслідків дій небезпек на об'єкти впливу та обґрунтування управлінських рішень щодо зменшення рівня ризику.

Результати. У результаті проведеного дослідження ідентифіковано основні небезпечні чинники, що супроводжують процеси ремонту та обслуговування електроустаткування, зокрема ті, що призводять до високого рівня електротравматизму (понад 55 % від загальної кількості смертельних випадків у галузі). Встановлено, що ключовими джерелами загроз є допуск непідготовленого персоналу, незадовільний стан застарілого обладнання, порушення технологічної дисципліни та відсутність належного використання засобів індивідуального захисту. Обґрунтовано ієрархічну систему заходів безпеки, яка охоплює повне усунення небезпек через модернізацію (заміна повітряних мереж кабельними), впровадження інженерних і технічних рішень (системи вентиляції, блокування, огороження), а також організаційні заходи та застосування засобів індивідуального захисту. Доведено необхідність комплексного підходу до управління ризиками, що враховує як нормативні вимоги, так і специфічні умови праці на конкретних робочих місцях.

Наукова новизна. Полягає у систематизації та деталізації специфічних загроз у роботі електромонтера з ремонту та обслуговування електроустаткування. Вперше акцентовано увагу на необхідності адаптації ідентифікації небезпек до умов воєнного стану, зокрема через появу нових ризиків, пов'язаних із масованими атаками на енергетичну інфраструктуру та ліквідацією нетипових аварій.

Практична значимість. Розроблено перелік вхідних даних та способів їх отримання для ефективної ідентифікації чинників небезпек на підприємствах електроенергетики. Сформовано практичні рекомендації щодо вибору та поєднання технічних і адміністративних заходів захисту, які можуть бути використані керівниками підприємств, службами охорони праці та фахівцями для зниження виробничого травматизму до прийняттого рівня. Отримані результати можуть бути інтегровані в картки ідентифікації небезпек та програми навчання персоналу.

Ключові слова: електроустаткування, електромонтер, виробнича небезпека, ідентифікація ризиків, охорона праці, засоби індивідуального захисту, енергетична інфраструктура.

Вступ.

Понад 55 % від загальної кількості загиблих на підприємствах електроенергетики загинули внаслідок ураження електричним струмом [1]. Нещасні випадки відбуваються на спеціалізованих енергетичних підприємствах в основному з оперативними працівниками, які мають достатній досвід, кваліфікацію і, власне, повинні забезпечувати безпечне виконання робіт. Це свідчить про незадовільну роботу з охорони праці керівників підприємств, структурних підрозділів та служб охорони праці [2].

Серед проблемних питань в електроенергетиці є низький рівень виконавчої і технологічної дисципліни працівників, порушення вимог безпеки під час експлуатації обладнання, машин і механізмів. Стабільно збільшується кількість

небезпечних робочих місць, де в результаті використання застарілої техніки та обладнання (в енергетиці знос енергетичного обладнання досяг критичного рівня) ризик нещасних випадків зростає, незадовільними є забезпечення працюючих засобами індивідуального захисту і рівень знань працівників з питань охорони праці.

Для зниження виробничих ризиків та не допущення випадків смертельного виробничого травматизму необхідно ідентифікувати небезпечні чинники на робочих місцях та обґрунтувати методи керування ними.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Проблеми ризиків електротравмування на об'єктах підприємств електроенергетики досліджували у роботі [1]. Встановлено, що найбільша частка нещасних випадків зі

смертельними наслідками припадає на ураження електричним струмом (55 % від загальної кількості). Найбільша кількість зі смертельних травм в енергетичній галузі за даними статистики припадає на електротравми. За даними авторів [1] в енергетиці електротравматизм здебільшого виникає під час експлуатації зовнішніх електроустановок, зокрема трансформаторних підстанцій, повітряних ліній електропостачання, конденсаторних та перетворювальних установок. Аналіз причин травматизму за місцем їх виникнення свідчить про те, що 53 % електротравм виникало під час експлуатації зовнішніх електроустановок, решта 47 % електротравм виникало у приміщеннях. Найбільш травмонебезпечними професіями на підприємствах електроенергетики є електрослюсар з ремонту електрообладнання обладнання та електромонтер. Однак автори не аналізують небезпечні дії та ситуації, які є причинами травмування працівників.

Це зумовлює потребу удосконалення управління охороною праці на підприємствах електроенергетики, зокрема слід розробити заходи для мінімізації ризиків електротравматизму. Для обґрунтування рішень направлених на мінімізацію ризику електротравм та професійно зумовлених захворювань від електричної енергії та для оцінювання ризику електротравматизму доцільно застосовувати причинно-наслідкову модель ризику електротравмування персоналу під час технічного обслуговування та ремонту електроустановок та ін.

Дослідження щодо розробки, удосконалення і використання методів аналізу процесів формування, виникнення аварій та виробничих травм наведено в багатьох наукових роботах [4,5]. Ці методи ґрунтуються на ретельному аналізі небезпечних ситуацій, обставин та умов їх утворення і розвитку. Такий підхід уможливорює розробку заходів для уникання дії потенційних небезпечних чинників ще до початку виникнення травмонебезпечних чи розвитку катастрофічних ситуацій.

Мета статті.

Метою роботи є обґрунтування переліку можливих чинників небезпек працівників під час виробничих процесів ремонту та обслуговування

електроустановок та обґрунтування заходів щодо запобігання їм.

Методи дослідження.

Методологія аналізу чинників небезпек під час виробничих процесів ремонту та обслуговування електроустановок ґрунтується на відомих методах аналізу ризику, яку широко застосовують у світовій практиці під час оцінки небезпек. Аналіз чинників небезпек передбачає дослідження несприятливих наслідків дій небезпеки на об'єкти впливу та обґрунтування управлінських рішень щодо зменшення рівня ризику.

Для проведення робіт з ідентифікації чинників небезпек потрібно визначити які вхідні дані буде використано, а також способи та джерела їх отримання. Основними вхідними даними для проведення робіт з ідентифікації чинників небезпек під час обслуговування енергетичного обладнання є

- вимоги нормативних документів у сфері охорони праці;
- результати атестації робочих місць обслуговування енергетичного обладнання за умовами праці;
- дані щодо розслідування інцидентів, які виникали під час обслуговування енергетичного обладнання;
- результати попереднього визначення небезпек і оцінювання ризиків під час обслуговування енергетичного обладнання;
- дані, отримані під час опитування працівників та зацікавлених сторін, щодо ризиків і заходів безпеки під час обслуговування енергетичного обладнання;
- дані про організацію робочого місця під час обслуговування енергетичного обладнання, маршрути руху;
- технічні характеристики енергетичного обладнання, дані про небезпечні режими роботи, матеріали тощо.

До основних способів і джерел отримання вхідних даних слід віднести:

- аналіз основних причин небезпечних ситуацій, які виникали під час обслуговування енергетичного обладнання;
- спостереження за режимом і методами роботи енергетичного обладнання;
- опитування фахівців щодо небезпек під час експлуатації енергетичного обладнання;
- аналізування причин інцидентів під час експлуатації енергетичного обладнання;

- моніторинг і оцінювання можливих небезпечних хімічних і фізичних чинників під час роботи енергетичного обладнання;

- оцінювання стану роботи енергетичного обладнання з погляду можливості виникнення небезпечної ситуації;

- документація з охорони праці, зокрема нормативно-правові акти, інструкції з охорони праці під час обслуговування енергетичного обладнання;

- креслення, схеми розміщення енергетичного обладнання тощо; паспорти підприємств-виробників енергетичного обладнання тощо.

Виклад основного матеріалу.

Під час виробничих процесів ремонту та обслуговування електроустановок працівник виконує високоточну зорову роботу із контролем об'єктів розрізання розміром 1-0,3 мм. Згідно до Гігієнічної класифікації за показниками шкідливості та небезпечності, важкості праці та напруженості трудового процесу праця електромонтера відповідають 3 класу 1 ступеня шкідливості [3].

Для оцінки чинників небезпек потрібно врахувати обставини місця виконання робіт, умови праці, вид та стан обладнання, особливості технологічного процесу та інше. Після ідентифікації небезпек на робочих місцях визначають ймовірність завдання шкоди та методи як цьому запобігти.

Ризики та небезпечні чинники на робочих місцях визначають працівники, які організовують виконання роботи на конкретному робочому місці. Ідентифікація чинників небезпек на робочому місці та обґрунтування методів керування ними, має вирішальне значення для створення умов безпечної роботи, що уможливорює всім працівникам зробити власний внесок у створення безпечних умов праці на робочих місцях.

Після початку агресії Росії проти нашої держави ризики працівників підприємств електроенергетики значно зросли. Агресор масовано атакує ракетами та безпілотними агрегатами об'єкти енергетичної інфраструктури України. Працівникам підприємств електроенергетики доводиться ліквідовувати на об'єктах енергетичної інфраструктури аварії, які характерні для

військового часу та бойових дій, які не описані у жодному переліку небезпек мирного часу. У результаті є нагальна потреба перегляду чинних нормативних документів. Результати перегляду чинних нормативних документів із імовірними небезпеками та ризиками військового часу потрібно фіксувати у картках ідентифікації небезпек та оцінки ризиків на робочих місцях, з якими потрібно ознайомити працівників, а також мають ознайомлюватися й інші зацікавлені особи, зокрема відвідувачі та працівники підрядних організацій.

Ідентифікація небезпечних чинників на робочих місцях та обґрунтування методів керування ними, має вирішальне значення для створення умов безпечної роботи, що уможливорює всім працівникам зробити власний внесок у створення безпечних умов праці на робочих місцях. Тому розробка методів ідентифікації небезпечних чинників на робочих місцях, зокрема під час експлуатації енергетичного обладнання, які базуються на моделюванні процесів їх формування є актуальним завданням для підприємств електроенергетики.

Небезпеки під час експлуатації енергетичного обладнання у вигляді різних негативних чинників у можуть виникати практично скрізь на підприємствах електроенергетики. Враховуючи те, що на підприємствах електроенергетики експлуатуються багато різного енергетичного обладнання, яке містить шкідливі та небезпечні робочі місця можна говорити про шкідливий вплив цього обладнання на працівників та багато іншого. Розглянемо наявні шкідливі виробничі чинники, з якими люди стикаються на підприємствах.

Шкідливі та небезпечні виробничі чинники під час експлуатації енергетичного обладнання на підприємствах електроенергетики нерозривно пов'язані між собою. Шкідливі та небезпечні виробничі чинники це ті фактори, які в результаті свого тривалого або короточасного впливу на людину призводять до погіршення стану його здоров'я або до травми. На підприємствах електроенергетики з такими умовами праці під час експлуатації енергетичного обладнання різні нещасні випадки відбуваються досить часто.

Шкідливі та небезпечні виробничі чинники під час експлуатації енергетичного обладнання діючи на працівника, знижують його працездатність або призводять до різних захворювань, які називають професійними хворобами. Межа між шкідливими та небезпечними виробничими чинниками досить умовна. За певних умов шкідливі виробничі чинники можуть стати небезпечними. Так наприклад, підвищена вологість повітря є несприятливим виробничим умовами праці, які можуть зумовити різні захворювання дихальної системи працівника. Якщо працівнику доводиться в таких умовах працювати з електричним струмом, обслуговувати електрообладнання, то це стає вже небезпечно, а не просто шкідливо.

Ідентифікуючи небезпеки під час обслуговування енергетичного обладнання маємо комплексно враховувати всі небезпеки та ризики, які присутні на кожному робочому місці під час обслуговування енергетичного обладнання, вимоги законодавства та інші вимоги, враховувати змінами в організації її процесів.

Ідентифікація небезпек на робочому місці полягає у визначенні всіх об'єктів, ситуацій або дій (чи їх поєднання), що притаманні обслуговуванню енергетичного обладнання та несуть потенційну загрозу для здоров'я або життя працівників.

Під час ідентифікації небезпек потрібно розглядати небезпечні ситуації, які постійно присутні за нормальних умов роботи енергетичного обладнання, а також небезпеки, вплив яких можливий за умов відхилення від нормальних режимів та умов роботи енергетичного обладнання та аварійних ситуацій.

До позапланових або нештатних ситуацій під час обслуговування енергетичного обладнання можна віднести:

- тимчасові зміни виробничого процесу використання енергетичного обладнання;
- порушення роботи мереж електро-, водо-, тепло-, газопостачання;
- екстремальні погодні умови під час обслуговування енергетичного обладнання, яке розміщене на відкритій місцевості (трансформаторні підстанції, лінії електропередач тощо;

- надзвичайні ситуації зумовлені діями ворога у військовий час.

У процесі ідентифікації небезпек потрібно врахувати ситуації, коли джерело небезпеки безпосередньо не пов'язане із обслуговуванням енергетичного обладнання на робочому місці, а небезпека може вплинути на працівника зі сторони сусідніх робочих місць. Тому під час ідентифікації небезпек потрібно врахувати небезпечні чинники, які можуть виникнути поблизу робочого місця.

За результатами ідентифікації небезпек мають бути встановлені небезпека (об'єкт, ситуація чи дія, або їх поєднання), місце, де виникає небезпека (вид енергетичного обладнання, робоче місце), вид робіт, операцій, під час виконання яких виникає небезпека обслуговування енергетичного обладнання; працівники, які наражаються на небезпеку, а також усі сторонні працівники, які мають доступ до місця виникнення небезпеки.

До додаткової інформації ідентифікації небезпек відносяться докладні відомості про місце виконання роботи, відстань до іншого робочого місця, яке може мати небезпечний вплив на працівника; професійна підготовленість і досвід працівника, який виконує роботи з підвищеною небезпекою; перебування поблизу енергетичного обладнання сторонніх осіб, які можуть постраждати від робіт з підвищеною небезпекою; відомості інструкцій щодо виконання робіт з підвищеною небезпекою; інструкції виробників з експлуатації енергетичного обладнання та його технічного обслуговування; наявність на робочому місці системи вентиляції, засобів індивідуального та колективного захисту та інших засобів безпеки.

Однією із головних професій, які задіяні під час виконання виробничих процесів на підприємствах електроенергетики є електромонтери з ремонту та обслуговування електроустаткування (електромонтер з РОЕ). До функціональних обов'язків електромонтера з РОЕ відноситься обслуговування силових електричних і освітлювальних установок, перевірка, розбирання і складання схем керування електроустаткуванням, підключення до електросистеми нового обладнання, його

перевірку, регулярний нагляд за його роботою.

Для ідентифікації небезпек розглянемо основні небезпечні чинники роботи електромонтера (табл. 1).

Таблиця 1.

Небезпечні чинники роботи електромонтера

№ п/п	Опис загрози
1	2
1	До роботи електромонтером допущена особа, яка не відповідає вимогам за станом здоров'я
2	До роботи електромонтером допущена особа, яка має кваліфікаційну групу з електробезпеки нижче третьої, або не пройшла вступний інструктаж з охорони праці, виробничої санітарії, пожежної безпеки, первинний інструктаж з безпечних прийомів виконання робіт або не пройшла стажування під керівництвом досвідченого, кваліфікованого електромонтера
3	Електромонтер не використовує спецодяг та інші засоби індивідуального захисту, хоча ними забезпечений
4	Електромонтер виконує монтажні і ремонтні роботи на електричних мережах і пристроях, а також роботи по приєднанню і роз'єднанню проводів, заміну перегорілих запобіжників без зняття напруги
5	Електромонтер перед початком роботи не перевіряв справність електрообладнання або справність ізоляції живлячих проводів електроінструмента, переносних ламп, понижуючих трансформаторів на відсутність замикання на корпус, на цілісність заземлюючого проводу стан ізолюючих підставок або решіток або пускових приладів або заземлення тощо
6	Електромонтер вмикає електродвигуни або електроінструмент або прилади електричного освітлення до електромережі шляхом скручування проводів без використання призначених для цього апаратів і приладів (кнопок, вимикачів автоматичних, рубильників, пускачів магнітних)
7	Електромонтер перед початком роботи не перевіряв справність ручного інструменту (держаків кусачок і плоскогубців, робоча частина викрутки, стан гайкових ключів тощо), застосовує прокладки та продовжує ключі трубою
8	Електромонтер не відрегулював місцеве освітлення для доброго освітлення робочої зони
9	Електромонтер не провів необхідні відключення подачі напруги і (або) не вжив заходів, що перешкоджають помилковому або довільному включенню комутаційної апаратури для подачі напруги до місця роботи;
10	Електромонтер під час підготовки робочого місця при роботах з частковим або повним зняттям напруги не приєднав переносні заземлення до заземлюючого пристрою і (або) не ввімкнув заземлюючі ножі або не обгородив струмоведучі частини, що залишилися під напругою або не перевіряв показником напруги або переносним вольтметром відсутність напруги в електроустановках до 1 000 В або не перевіряв наявність заземлення електроустановок при напрузі 500 В і вище або виконуючи роботи на відключеній частині електроустановки не накладав заземлення з усіх боків, звідки може бути подана напруга, включаючи і зворотну трансформацію.
11	Електромонтер накладає або знімає заземлення затискачами переносного заземлення без діелектричних рукавиць та без допомоги штанги із ізоляційного матеріалу і (або) знімає переносне заземлення спочатку від'єднуючи від заземлюючого пристрою
12	Електромонтер виконуючи роботи в електроустановках, у яких накладання заземлення небезпечне або неможливе (деякі розподільні ящики, контрольно-розподільні пристрої тощо) не замкнув на замок привід роз'єднувача або не обгородив ножі або верхні контакти роз'єднувачів гумовими ковпаками або жорсткими ізоляційними накладками

Продовження таблиці 1.

1	2
13	Електромонтер не забезпечений спецодягом і (або) засобами індивідуального захисту від ураження електричним струмом (діелектричними рукавичками, діелектричними килимами і ботами, інструментами з ізольованими ручками)
14	Засоби індивідуального захисту від ураження електричним струмом, якими забезпечений електромонтер не пройшли перевірку та випробування, мають проколи і тріщини тощо
15	Під час ремонту електрообладнання напруга для переносних світильників перевищує 42 В і (або) штепсельні вилки, що застосовуються у мережах з напругою 12 і 42 В використовуються у мережах з великою номінальною напругою і (або) електричні проводи не захищені від механічних пошкоджень ізоляції, від дотику до гарячих поверхонь, сталевих канатів, шлангів газополуменової апаратури, масел та кислот тощо.
16	Електромонтер при роботах з частковим або повним зняттям напруги не забезпечений плакатами “Не включати – робота на лінії”, “Не включати – працюють люди”, “Не відкривати – працюють люди”
17	Пуск електрообладнання, яке тимчасово відключене за заявкою персоналу відбулося без огляду, не переконавшись у готовності до прийняття напруги і без попередження персоналу, який працює на ньому
18	Не вимкнені вимірювальні трансформатори низької сторони, що призвело до трансформації напруги з низької сторони на високу
19	Включення електроустановки, що автоматично відключилася без з’ясування причин її відключення.
20	Плакати, огороження та заземлення зняті без дозволу керівника робіт
21	Включення електрообладнання виконано без відома особи, яка дала заявку на відключення або особи, що замінила її, або ж уповноваженої особи яка у цей час її заміняє

Дані табл. свідчать про те, що виникнення небезпечної ситуації ураження працівника електричним струмом, який зумовлюється допуском до роботи не підготовленого електромонтера або порушеннями ним вимог безпеки, а також зумовлені недоліками щодо організації проведення робіт з ремонту та обслуговування електроустаткування ризик не може бути прийнятним без захисних заходів. Навіть за умови виконання чинних вимог нормативних документів щодо безпеки праці під час ремонту та обслуговування електроустаткування, внаслідок дії чинників ймовірнісного характеру, можуть виникати небезпечні ситуації травмування працівників. Це зумовлює потребу використання додаткових заходів безпеки.

Для зниження ймовірності виникнення тяжких травм слід вибирати відповідні заходи безпеки, щоб можна було уникнути небезпек. Заходи безпеки вибирають починаючи від заходів, спрямованих на повне усунення небезпек на робочому місці і

завершують вибором заходів із застосуванням засобів індивідуального захисту.

За результатами вивчення небезпечних чинників роботи електромонтера під час експлуатації енергетичного обладнання визначають адекватність наявних заходів безпеки, потребу в їх поліпшенні чи запровадженні інших заходів безпеки.

До заходів, спрямованих на повне усунення небезпек відносяться заходи, які повністю усувають з виробництва небезпечне енергетичне обладнання та встановлюють більш досконале та безпечне, зокрема, наприклад, до цих заходів можна віднести заміну повітряних електричних мереж на кабельні електричні мережі. Зазначимо, що даний захід передбачає значних капіталовкладень і тому може застосовуватися в обмежених випадках.

До інженерних рішень відноситься заміна небезпечних матеріалів менш небезпечними матеріалами, зменшення енергоємності обладнання за рахунок зниження напруги, сили струму, тиску,

температури тощо, які застосовуються в обладнанні.

Заходи безпеки, які базуються на запровадженні технічних рішень для усунення небезпечних чинників передбачають встановлення систем вентиляції, механічного огороження небезпечних частин енергетичного обладнання, аварійного блокування енергетичного обладнання, звукового сповіщення про небезпеку тощо).

Якщо немає можливості усунути небезпеки енергетичного обладнання попередніми методами застосовують організаційні (адміністративні) заходи безпеки, які полягають у встановленні вивісок, попередження, знаків безпеки, маркуванні небезпечних зон, попереджувальних сирен або вогнів, сигналізації тощо. До організаційних (адміністративних) заходів можна віднести також запровадження безпечних процедур експлуатації енергетичного обладнання, контролю технічного стану обладнання, контролю доступу до енергетичного обладнання, системи безпечності роботи, дозволів на роботу, інструктажів тощо.

Якщо небезпеки експлуатації енергетичного обладнання на робочому місці повністю не усунуті, то потрібно використовувати засоби індивідуального захисту, а саме захисні окуляри, навушники, щитки, рукавиці тощо.

Для досягнення безпеки експлуатації енергетичного обладнання на робочому місці може бути застосований як окремих захід безпеки, так і використання кількох заходів безпеки. Якщо немає можливості усунути ризик небезпеки експлуатації енергетичного обладнання на робочому місці, то розглядають можливість його зниження до прийняттого рівня. Прийнятний рівень визначає підприємство із врахуванням правових зобов'язань та Державної політики у сфері охорони праці.

Обговорення результатів.

Під час обґрунтування заходів безпеки експлуатації енергетичного обладнання на робочому місці потрібно враховувати:

– рекомендації нормативних документів, в яких зазначено заходи безпеки для конкретних небезпек;

– передовий досвід підприємств та новітні досягнення щодо застосування заходів безпеки експлуатації енергетичного обладнання;

– можливість застосування засобів колективного захисту працівників;

– необхідність поєднання різних заходів безпеки, зокрема технічних засобів захисту працівників та засобів їх індивідуального захисту;

– наявність на підприємстві фінансових ресурсів для запровадження певного заходу безпеки.

Висновки.

До основних проблем в електроенергетиці можна віднести низький рівень виконавчої і технологічної дисципліни працівників, порушення вимог безпеки під час експлуатації обладнання, машин і механізмів. Збільшується кількість небезпечних робочих місць, де в результаті використання застарілої техніки та обладнання (в енергетиці знос енергетичного обладнання досяг критичного рівня) ризик нещасних випадків зростає, незадовільними є забезпечення працюючих засобами індивідуального захисту і рівень знань працівників з питань охорони праці. Для зниження виробничих ризиків та не допущення випадків смертельного виробничого травматизму необхідно ідентифікувати небезпечні чинники на робочих місцях та обґрунтувати методи керування ними. Досліджено основні види загроз у процесах ремонту та обслуговування електроустаткування, які зумовлюються допуском до роботи не підготовленого електромонтера або порушеннями ним вимог безпеки, недоліками забезпечення електромонтера інструментами спецодягом та іншими засобами індивідуального захисту, а також їх несправностями, недоліками щодо організації проведення робіт з ремонту та обслуговування електроустаткування.

Список літератури

1. Є. А. Бондаренко, С. Я. Вишневський, А. Є. Бондаренко Сучасний стан

електротравматизму в енергетичній галузі / Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2021. № 3. С.18-23

2. Інформація про травматизм на підприємствах паливно-енергетичного комплексу. URL: <https://mev.gov.ua/storinka/informatsiya-pro-travmatyzm-na-pidpryyemstvakh-palyvno-enerhetychnoho-kompleksu> (дата звернення 28.04.23).

3. Державні санітарні норми та правила «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу» Наказ Міністерства охорони здоров'я України 08.04.2014 № 248 <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0472-14#Text>

4. Тимочко В. О., Городецький І. М., Березовецький А. П. Оцінка ризику під час роботи на металообробних верстатах токарної групи. Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження. 2018. № 22. С. 22-29.

5. Tymochko, V.O., Horodetskyi, I.M., Berezovetskyi, A.P., Voynalovich, O.V., Visyn, O.O. Analysis of safety regulations for mechanized spraying of agricultural crops/ Machinery and Energetics, 2021, 12(2), pp.

6. ДСТУ 7239:2011. Система стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація. [Чинний від 02.02.2011]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2011. 20 с.

7. Правила охорони праці у сільськогосподарському виробництві: затв. наказом Міністерства соціальної політики України від 29.08.2018 р. № 1240. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1090-18#Text> (дата звернення: 10.03.2024).

8. Про затвердження Порядку проведення медичних оглядів працівників певних категорій: наказ Міністерства охорони здоров'я України від 21.05.2007 р. № 246. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0846-07#Text> (дата звернення: 15.03.2024).

References

1. Bondarenko, Ye. A., Vyshnevskiy, S. Ya., & Bondarenko, A. Ye. (2021). Suchasnyi stan elektrotravmatyzmu v enerhetychnii haluzi [Current

state of electrical injuries in the energy sector]. Visnyk Vinnytskoho Politekhnicznego Instytutu, (3), 18–23.

2. Ministry of Energy of Ukraine. (n.d.). Informatsiia pro travmatyzm na pidpryyemstvakh palyvno-enerhetychnoho kompleksu [Information on injuries at fuel and energy sector enterprises]. <https://mev.gov.ua/storinka/informatsiya-pro-travmatyzm-na-pidpryyemstvakh-palyvno-enerhetychnoho-kompleksu>

3. Ministry of Health of Ukraine. (2014, April 8). State sanitary norms and rules “Hygienic classification of labor by indicators of harmfulness and danger of factors of the working environment, severity and intensity of the labor process” (Order No. 248). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0472-14#Text>

4. Tymochko, V. O., Horodetskyi, I. M., & Berezovetskyi, A. P. (2018). Otsinka ryzyku pid chas roboty na metaloobrobnykh verstatax tokarnoi hrupy [Risk assessment during work on lathe-type metalworking machines]. Visnyk Lvivskoho Natsionalnoho Ahromoho Universytetu: Ahroinzhenerni Doslidzhennia, (22), 22–29.

5. Tymochko, V. O., Horodetskyi, I. M., Berezovetskyi, A. P., Voynalovich, O. V., & Visyn, O. O. (2021). Analysis of safety regulations for mechanized spraying of agricultural crops. Machinery and Energetics, 12(2).

6. Derzhspozhyvstandart Ukrainy. (2011). DSTU 7239:2011. Systema standartiv bezpeky pratsi. Zasoby indyvidualnoho zakhystu. Zahalni vymohy ta klasyfikatsiia [Occupational safety standards system. Personal protective equipment. General requirements and classification].

7. Ministry of Social Policy of Ukraine. (2018, August 29). Occupational safety rules in agricultural production (Order No. 1240). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1090-18#Text>

8. Ministry of Health of Ukraine. (2007, May 21). On approval of the procedure for conducting medical examinations of employees of certain categories (Order No. 246). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0846-07#Text>

Тимочко Василь Олегович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри інженерної механіки, Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького (вул. В. Великого, 1, м. Дубляни, Львівський район, Львівська область 80381, Україна)

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0642-1570>

E-mail: tymochko_vo@ukr.net

Городецький Іван Миколайович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри інженерної механіки, Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького (вул. В. Великого, 1, м. Дубляни, Львівський район, Львівська область 80381, Україна)

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6055-9549>

E-mail: ivanhorod@gmail.com

Вісин Олена Олександрівна – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри цивільної безпеки, Луцький національний технічний університет (вул. Львівська, 75, Луцьк, Волинська область, 43018, Україна).

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2361-6708>

E-mail: lena_visyn@ukr.net

INDUSTRIAL HAZARDS DURING THE MAINTENANCE AND REPAIR OF ELECTRICAL EQUIPMENT

Purpose. *Purpose. The purpose of this work is to substantiate a list of possible hazards for workers during the repair and maintenance of electrical installations and to justify measures to prevent them.*

Research methods. *The methodology for analyzing hazards during the repair and maintenance of electrical installations is based on well-known risk analysis methods that are widely used in global practice when assessing hazards. The analysis of hazard factors involves studying the adverse effects of hazards on objects of influence and justifying management decisions to reduce the level of risk.*

Results. *The study identified the main hazards associated with the repair and maintenance of electrical equipment, in particular those leading to high levels of electrical injuries (over 55% of all fatalities in the industry). It was established that the key sources of threats are the admission of untrained personnel, the unsatisfactory condition of outdated equipment, violations of technological discipline, and the lack of proper use of personal protective equipment. A hierarchical system of safety measures has been developed, covering the complete elimination of hazards through modernization (replacement of overhead networks with cable networks), the implementation of engineering and technical solutions (ventilation systems, locking, fencing), as well as organizational measures and the use of personal protective equipment. The need for a comprehensive approach to risk management that takes into account both regulatory requirements and specific working conditions at specific workplaces has been proven.*

Scientific novelty. *It consists in systematizing and detailing specific threats in the work of an electrician repairing and maintaining electrical equipment. For the first time, attention is focused on the need to adapt hazard identification to martial law conditions, in particular due to the emergence of new risks associated with massive attacks on energy infrastructure and the elimination of atypical accidents.*

Practical significance. *A list of input data and methods for obtaining it has been developed for the effective identification of hazard factors at electric power enterprises. Practical recommendations have been formulated for the selection and combination of technical and administrative protection measures that can be used by enterprise managers, occupational safety services, and specialists to reduce occupational injuries to an acceptable level. The results obtained can be integrated into hazard identification cards and staff training programs.*

Keywords: *electrical equipment, electrician, occupational hazard, risk identification, occupational safety, personal protective equipment, energy infrastructure.*

Vasyl Tymochko – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Engineering Mechanics, Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies Lviv (1, V. Velykoho Str., Dubliany, Lviv district, Lviv region, 80381, Ukraine)

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-0642-1570>

E-mail: tymochko_vo@ukr.net

Ivan Horodetsky – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Engineering Mechanics, Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies Lviv (1, V. Velykoho Str., Dubliany, Lviv district, Lviv region, 80381, Ukraine)

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-6055-9549>

E-mail: ivanhorod@gmail.com

Olena Visyn – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Civil Safety, Lutsk National Technical University (75, Lvivska Str., Lutsk, Volyn region, 43018, Ukraine).

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-2361-6708>

E-mail: lena_visyn@ukr.net

УДК 351.862

[https://doi.org/10.36910/3083-6255/2\(2\).2025.102-109](https://doi.org/10.36910/3083-6255/2(2).2025.102-109)

А.А. Хижняк
С. А. Фірсов
О.О. Ченчева
С. А. Дикань

ПРОГНОЗУВАННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ І ПОДІЙ ПІД ЧАС ВОЄННОГО СТАНУ

Мета. Опрацювання статистичних даних та прогнозування ризиків виникнення надзвичайних ситуацій (НС) воєнного характеру та їхніх наслідків (на прикладі території Полтавської області) для підвищення ефективності підготовки сил цивільного захисту.

Методика. У дослідженні використано математичний апарат систем масового обслуговування, зокрема найпростіший пуассонівський потік подій для визначення ймовірностей виникнення повітряних тривог, вибухів та людських втрат. Також застосовано метод загального оцінювання ризику — аналіз дерева подій (Event Tree Analysis, ETA), що базується на індуктивному мисленні для кількісного визначення можливих сценаріїв розвитку ситуації.

Результати. На основі аналізу статистики в Полтавській області за період з вересня 2024 по липень 2025 року визначено інтенсивність основних подій: повітряних тривог (3,49 на день), вибухів (1,04), появи постраждалих (1,39) та загиблих (0,26). Розраховано ймовірності виникнення цих подій протягом одного дня: ймовірність оголошення хоча б однієї тривоги становить 97%, вибуху - 65%, наявності постраждалих - 75%, загиблих - 23%. Побудовано графічну модель (дерево подій), яка дозволяє ідентифікувати сценарії розвитку НС від ініціюючої події (тривоги) до кінцевих наслідків.

Новизна. Полягає у застосуванні математичних методів теорії масового обслуговування до специфічних подій воєнного стану (ракетних та дронівих обстрілів) з метою переходу від простого інформування про небезпеку до повноцінного прогнозування ймовірності виникнення НС. Вперше на прикладі конкретного тилового регіону кількісно оцінено ймовірнісні характеристики ризиків воєнного характеру.

Практична значимість. Отримані прогнозні моделі дозволяють органам влади та суб'єктам управління ризиками завчасно приймати рішення щодо підготовки сил цивільного захисту, переведення закладів на онлайн-навчання чи дистанційну роботу та підготовки медичних установ до приймання постраждалих. Методика може бути масштабована на інші регіони України для створення обґрунтованих планів реагування на загрози воєнного часу.

Ключові слова: прогнозування надзвичайних ситуацій, воєнний стан, повітряна тривога, ризик, потік подій, розподіл Пуассона, аналіз дерева подій (ETA).

Вступ.

Повномасштабна війна росії проти України внесла в наш мінливий світ нові загрози, небезпечні події і надзвичайні ситуації (НС). Перманентні обстріли цивільної інфраструктури по всій території України несуть смерть і руйнування, заважають нормально працювати, змушують людей покидати свої домівки і переселятися в інші, відносно безпечні регіони. Щоденні повітряні тривоги і вибухи, які можуть початися в будь-яку хвилину, тримають людей у постійному стресі, створюють відчуття хаосу, непередбачуваності, виснажують психологічно. Проте навіть ці НС воєнного характеру можна приборкати, поставити їх у певні рамки, до них можна підготуватися, їх можна передбачати.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Прогнозування ймовірності виникнення НС є неодмінною умовою оцінювання ризиків виникнення НС.

Приміром, як зазначено в [1, стаття 171, п. 19], ДСНС здійснює разом із центральними та місцевими органами виконавчої влади, органами місцевого самоврядування, підприємствами, установами та організаціями прогнозування ймовірності виникнення НС задля оцінки ризику їх виникнення. Зауважимо: здійснює прогнозування всіх НС, і воєнного характеру в тому числі!

Однак фактично, в Україні прогнозування НС воєнного характеру замінено на попередження громадян про небезпеку обстрілів шляхом інформування населення про повітряну тривогу. Такі попередження, звичайно, необхідні, але вони не мають нічого спільного з процесом прогнозування. За визначенням, наведеним у Методиці [2], прогнозування — це завчасне визначення ймовірності виникнення і динаміки розвитку надзвичайних ситуацій на підставі аналізу можливих причин їх

виникнення, які зумовлені дією джерел надзвичайних ситуацій у минулому і на тепер, та оцінювання можливих наслідків.

В такому контексті імовірність виникнення НС часто розуміють як ризик НС. Останнім часом у сфері цивільного захисту з'явилися нормативні документи [3] і [4] для визначення ризиків НС техногенного характеру та пожеж. Проте на четвертий рік війни методики визначення ризиків НС воєнного характеру і досі немає.

Мета статті (постановка завдання).

Як свідчить [4], оцінити імовірність виникнення надзвичайних ситуацій певного виду можна на основі статистичних даних, історичних подій або експертних оцінок. За роки війни з'явилася певна статистика, опрацювання якої дозволяє прогнозувати загрозу ракетних обстрілів і атак безпілотників, а також їхні наслідків. Приміром, карта повітряних тривог України (<https://alerts.in.ua/>) публікує статистику кількості оголошених тривог, повідомлень про вибухи, середню тривалість тривог по місяцям, по днях тижня в різних регіонах України. Є також сайт <https://air-alarms.in.ua/>, який використовує офіційні і неофіційні джерела інформації. Як офіційні джерела сайт використовує дані телеграм-каналу "Повітряна тривога", звідки надходять дані про повітряні тривоги рівня області та у м. Київ. До неофіційних OSINT-джерел відносяться безліч місцевих телеграм-каналів типу мобільного додатку "єТривога", котрі сповіщають населення про загрози на місцевому рівні. Вся ця інформація може бути використана центральними і місцевими органами виконавчої влади, органами місцевого самоврядування, підприємствами, установами та організаціями для прогнозування ймовірності виникнення надзвичайних ситуацій, спричинених обстрілами з повітря. Тож метою дослідження є опрацювання статистики і прогнозування ризиків виникнення НС воєнного характеру з їхніми наслідками на прикладі території Полтавської області, віддаленої від зони активних бойових дій.

Виклад основного матеріалу.

Повітряні тривоги, ракетні чи дронів удари по окремих територіях України, їхні наслідки (будемо називати їх подіями і позначати k) в математичній інтерпретації можна порівняти з надходження запитів у системах масового обслуговування [5]. Усі ці

НС воєнного часу є ймовірнісними і утворюють потік подій k , що настають у випадкові моменти часу t .

Базовим параметром потоку є інтенсивність потоку $\lambda(t)$ – математичне очікування кількості подій за одиницю часу [5, с. 48]:

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow \infty} \frac{k_n(t, t + \Delta t)}{\Delta t} \quad (1)$$

тобто це границя відношення математичного очікування кількості подій k на інтервалі $(t, t + \Delta t)$ до довжини цього інтервалу, що наближається до нуля.

Випадкові часові інтервали між настанням подій у потоці можуть характеризуватися різними законами розподілу. Однак у більшості робіт, особливо прикладних, розглядається найпростіший (пуасонівський) потік, у якому ймовірність того, що в проміжку відбудеться рівно k подій, задається формулою Пуассона [5, с. 48]:

$$P_k(t) = (\lambda t)^k \cdot \frac{e^{-\lambda t}}{k!} \quad (2)$$

де $\lambda > 0$ – параметр потоку, тобто його інтенсивність (частота).

Для того, щоб застосувати розподіл Пуассона, потрібно пересвідчитися, що потік подій відповідає умовам стаціонарності, відсутності післядії та ординарності.

Випадковий потік називається стаціонарним, якщо ймовірність виникнення певної кількості подій протягом певного відрізка часу залежить лише від його тривалості й не залежить від початку його відліку на осі часу. Це означає: якщо на часовій осі відкласти рівні інтервали часу t , то ймовірність появи в цих інтервалах певної кількості подій для цього потоку залежить лише від величини t й не залежить від розміщення цього інтервалу на часовій осі. Такими інтервалами часу в якості дослідження будемо вважати календарні дні.

Відсутність післядії полягає в тому, що ймовірність надходження за відрізок часу t певної кількості подій k не залежить від того, скільки подій уже сталося, тобто не залежить від передісторії досліджуваного явища. Ординарність потоку подій означає практичну неможливість появи двох і більше подій в один і той самий момент часу.

Аналіз потоків досліджуваних подій (повітряних тривог, вибухів, кількості загиблих і постраждалих) дозволяє стверджувати, що вони задовольняють вимогам стаціонарності, відсутності післядії та ординарності. При цьому під «вибухами» будемо розуміти будь-які незаплановані завчасно вибухи, які пов'язані з веденням бойових дій та становлять потенційну загрозу безпеці населення. Це такі вибухи як, наприклад, влучання ракет, робота систем ППО чи інші вибухи військового характеру.

Оскільки даних про збитки в результаті руйнувань в загальному доступі немає, небезпеку вибухів будемо пов'язувати лише із загрозою для життя і здоров'я населення.

Користуючись статистикою перелічених подій (табл.1), наведеною на сайті <https://air-alarms.in.ua/> та інформаційними звітами про НС, проведемо розрахунок імовірностей виникнення перелічених подій k за час t , який дорівнює одному дню. Тобто глибину прогнозу цих подій приймемо $t = 1$ день.

Таблиця 1.

Статистика подій k в Полтавській області з 01.09.2024 по 31.07.2025

	Подія k				
	Повітряні тривоги	Вибухи	Поранені (постраждалі)	Загиблі	Досліджуваний період:
Вересень 2024	165	32	332	55	50
Жовтень 2024	112	24	46	10	31
Листопад 2024	104	9	0	1	30
Грудень 2024	90	23	0	0	31
Січень 2025	111	34	0	0	31
Лютий 2025	101	51	19	15	28
Березень 2025	102	59	2	0	31
Квітень 2025	106	24	1	0	30
Травень 2025	90	30	1	0	31
Червень 2025	90	30	17	2	30
Липень 2025	95	33	48	4	31
Σ	1166	349	466	87	334
λ	3,49	0,54	1,39	0,26	

1. Перша подія – повітряна тривога. Інтенсивність потоку цих подій визначаємо як їхню сумарну кількість за досліджуваний період, поділену на тривалість періоду:

$$\lambda = \frac{1166}{334} = 3,49.$$

2. Скористаємося формулою Пуасона (2) для найпростішого потоку подій. Визначимо імовірність того, що протягом наступного за досліджуванним періодом дня ($t = 1$) не буде жодної повітряної тривоги ($k = 0$):

$$P_k(t) = (\lambda t)^k \cdot \frac{e^{-\lambda t}}{k!} = P_0(1) = \frac{(3,49 \cdot 1)^0 \cdot e^{-3,49 \cdot 1}}{0!} = e^{-3,49} = 0,030; \text{ тобто } 3,0\%.$$

Це доволі мала імовірність.

3. Визначимо імовірність того, що протягом наступного дня ($t = 1$) буде хоча б одна повітряна тривога ($k \geq 1$). Оскільки події «не буде жодної тривоги» і «буде хоча б одна тривога» не сумісні і становлять повну групу подій, то сума їх імовірностей дорівнює одиниці. Тоді

$$P_1(1) = 1 - P_0(1) = 1 - 0,03 = 0,97; \text{ тобто } 97\%.$$

Це дуже висока імовірність.

4. Якщо реалізується перша подія (повітряна тривога), може статися друга випадкова подія – вибух. До неї теж можна застосувати розподіл Пуасона. Параметр цього потоку – це частота вибухів $\lambda = 349/334 = 1,04$. Визначимо імовірність того, що

протягом наступного за досліджуваним періодом дня за умови повітряної тривоги станеться хоча б один вибух. По аналогії з попереднім розрахунком:

$$P_1(1) = 1 - P_0(1) = 1 - e^{-1,04} = 1 - 0,35 = 0,65; \text{ тобто } 65\%.$$

5. Третя випадкова подія – наявність постраждалих. За умови вибухів є ризик того, що будуть руйнування і ураження людей. Визначимо імовірність того, що упродовж дня буде хоча б один постраждалий. Частота цієї події $\lambda = 466/334 = 1,39$, тож

$$P_1(1) = 1 - P_0(1) = 1 - e^{-1,39} = 1 - 0,25 = 0,75; \text{ тобто } 75\%.$$

6. Четверта випадкова подія – наявність загиблих. Статистика свідчить, що частота таких наслідків $\lambda = 87/334 = 0,26$, тож імовірність того, що упродовж наступного за досліджуваним періодом дня буде хоча один загиблий в результаті ракетного або дронного удару

$$P_1(1) = 1 - P_0(1) = 1 - e^{-0,26} = 1 - 0,77 = 0,23; \text{ тобто } 23\%.$$

Після визначення імовірностей перелічених подій за рекомендаціями [3] переходимо до оцінки ризиків. Користуючись національним стандартом [6], виберемо один із методів загального оцінювання ризику – аналізу дерева подій (Event Tree Analysis, ETA). Це середній за складністю метод, який використовує індуктивне мислення для переведення ймовірностей різних першопочаткових подій у можливі результати, і дає можливість отримати кількісні параметри ризику. Метод ETA дозволяє ідентифікувати та проаналізувати потенційні сценарії розвитку подій, які можуть виникнути після ініціюючої події. Він дозволяє графічно, у вигляді дерева відображати послідовність подій, що можуть відбутися, враховуючи різні наслідки та заходи захисту.

Метод ETA починається з визначення початкової події (стовбура), яка веде до подальшого розвитку подій (гілок дерева). Такою початковою подією є повітряна тривога (рис. 1). Наступні гілки «виростають» із вузлів (подій) і являють собою розгалуження можливих наслідків цих подій. Причому наслідки, які справджуються, позначають жирною лінією і малюють такими, що йдуть угору, а наслідки, які не справджуються, малюють тонкою лінією вниз. Над лініями позначають імовірність наслідків.

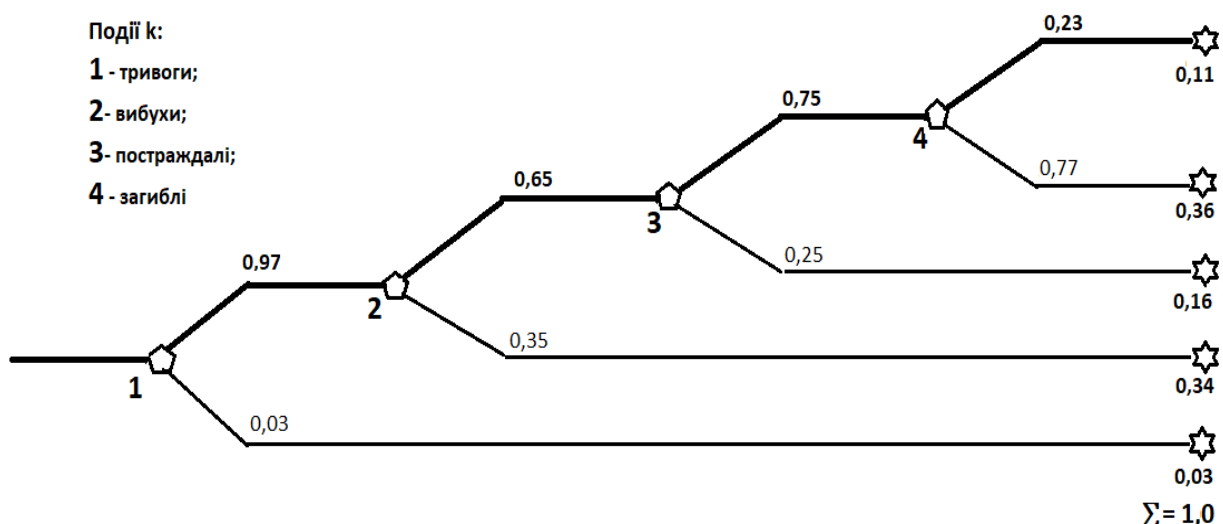


Рис. 1. Дерево подій для оцінювання ризиків НС воєнного часу

Зі схеми видно, що події 2, 3, 4 лежать на одній гілці дерева, а значить – вони умовні, тобто кожна наступна подія залежить від реалізації попередньої. Метод ЕТА дозволяє оцінити ймовірність здійснення кожного сценарію, враховуючи умовні ймовірності розвитку подій. Кожен шлях, що проходить по гілках дерева, відображає ймовірність настання всіх подій на цьому шляху. Тому ймовірність результату подають добутком окремих умовних ймовірностей і частоти першопочаткової події. Тобто для визначення кінцевого результату (ймовірності приходу на верхівку дерева по будь-якій гілці) усі ймовірності подій, які лежать на цій гілці, потрібно перемножити. Якщо дерево побудовано правильно і розрахунки виконані коректно, то сума ймовірностей по всіх верхівкам дерева утворює повну групу подій і дорівнює одиниці.

Проведемо оцінку ризиків за побудованим деревом подій. Національний стандарт [7] тлумачить термін «ризик» як невизначеність щодо досягнення цілей, а Методика [4] рекомендує цю невизначеність оцінювати ймовірністю виникнення НС певного виду на основі статистичних даних. Тож використовуючи побудоване дерево подій, визначаємо ризики кожної події, що можуть трапитися протягом дня, з урахуванням умовної ймовірності їх появи.

Ризик того, що повітряної тривоги протягом дня не буде:

$R'_1 = 0,03$ або 3% – невисокий ризик, тобто навряд чи день мине спокійно.

Ризик того, що повітряна тривога буде, але обійдеться без вибухів:

$R'_2 = 0,97 \times 0,35 = 0,34$ або 34% – середній ризик, тобто цілком можливо, що вибухи таки будуть.

Ризик того, що за наявності тривоги будуть вибухи, але постраждалих не буде:

$R'_3 = 0,97 \times 0,65 \times 0,25 = 0,16$ або 16% – невисокий ризик, тобто швидше за все постраждалих таки будуть.

Ризик того, що за наявності тривоги будуть вибухи і будуть постраждалі, але загиблих не буде:

$R'_4 = 0,97 \times 0,65 \times 0,75 \times 0,77 = 0,36$ або 36% – середній ризик, тобто такі наслідки цілком можливі.

Ризик того, що за наявності повітряної тривоги будуть і вибухи, і постраждалі, а серед постраждалих будуть і загиблі:

$R_4 = 0,97 \times 0,65 \times 0,75 \times 0,23 = 0,11$ або 11% – невисокий ризик, але, враховуючи наслідки, загроза серйозна.

Усі перелічені ризики в сумі утворюють повну групу подій, які можливі в період воєнного стану: «тривоги немає»; «тривога є, вибухів немає»; «вибухи є, постраждалих немає»; «постраждали є, загиблих немає»; «постраждали є, загиблі є». Тож сума ймовірностей цих подій дорівнює одиниці:

$$\sum R = 0,03 + 0,34 + 0,16 + 0,36 + 0,11 = 1,0.$$

Виконаємо ранжування ризиків, як це рекомендують нормативні документи [4] і [6]. Для цього побудуємо матрицю наслідків/ймовірностей. Її формат залежить від ситуації, в якій її використовують, тож характеристика її складових доволі умовна. Ймовірність ризиків поділимо на п'ять рангів, а наслідки – на чотири (табл. 2).

Оскільки ризик подають як комбінацію ймовірностей подій та їх наслідків [7], маємо $5 \times 4 = 20$ потенційних комбінацій, ранг яких записуємо у клітинках матриці.

Як бачимо, найвищого, шостого рівня набуває ризик наявності постраждалих (36%). Слідом іде ризик наявності загиблих (11%) – четвертий рівень. Далі – другого рівня – ризик наявності тривоги без вибухів (34%) і ризик наявності тривоги з вибухами, але без постраждалих (16%). Найнижчий, перший рівень посідає ризик першопочаткової події – відсутність повітряної тривоги. Він доволі низький – 3%. Темними кольорами, за рекомендацією [6], на матриці виділена зона неприпустимого ризику.

Отже, протягом дня тривога буде майже напевно, з ймовірністю 97%. Ймовірність кожної наступної події – умовна. З урахуванням наслідків – слід вжити заходів для забезпечення безпеки громадян, оскільки

ризик наявності постраждалих і загиблих $36 + 11 = 47\%$ – високий.

Звичайно, таке ранжування ризиків доволі умовне, оскільки жоден із них не відповідає нормативному рівню безпеки, наведеному в Методиці [4]. Але треба

розуміти, що нормативні рівні ризику НС розроблені на мирний період для НС техногенного характеру. Для умов життя під час війни і перманентних обстрілів цивільної інфраструктури прийнятного рівня ризику просто не існує, оскільки війна не є нормою.

Таблиця 2.

Матриця наслідків/імовірностей ризиків

Імовірність ризiku/ранг	Наслідки/ранг			
	Відсутні/1	Помірні/2	Значні/3	Катастрофічні/4
Невисока, 0...19% (1)	1 (тривоги не буде)	2 (тривога буде з вибухами)	3	4 (будуть загиблі)
Середня, 20...39% (2)	2 (тривога буде без вибухів)	4	6 (будуть постраждали)	8
Висока, 40...59% (3)	3	6	9	12
Дуже висока, 60...79% (4)	4	8	12	16
Майже достовірна, 80...99%; (5)	5	10	15	20

Висновки. Наведений підхід до оцінки ризиків НС воєнного часу дозволяє, як зазначено в [3], мінімізувати можливі ураження людей шляхом інформування про них громадян та місцевих органів влади. Наприклад, на сайтах територіальних органів ДСНС, сайтах місцевих органів влади. Крім того, суб'єкти управління ризиками можуть таким чином здійснювати прогнозування

наслідків НС воєнного характеру і завчасно приймати рішення стосовно підготовки сил цивільного захисту до реагування, медичних закладів – до приймання постраждалих, переведення працівників підприємств, установ, організацій на дистанційну роботу, учасників освітнього процесу – на онлайн-навчання тощо.

Список літератури

1. Кодекс цивільного захисту України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17>
2. Методика прогнозування наслідків виливу (викиду) небезпечних хімічних речовин під час аварій на хімічно небезпечних об'єктах і транспорті, затверджена наказом МВС України 29.11.2019 р. № 1000, зареєстрована в Міністерстві юстиції України 14.05.2020 р. за № 440/34723. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0440-20>
3. Порядок управління ризиками виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру та пожеж, затверджений наказом МВС України 31.07.2023 р. № 627, зареєстрований в Міністерстві юстиції України

14.08.2023 р. за № 1397/40453. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1397-23#Text>

4. Методика оцінювання ризиків виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру та пожеж, затверджена наказом МВС України 13.10.2023 р. № 836, зареєстрована в Міністерстві юстиції України 02.11.2023 р. за № 1905/40961. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1905-23#Text>

5. Литвинов А. Л. Теорія систем масового обслуговування: навч. посібник. – Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 141 с.

6. Національний стандарт України ДСТУ EN IEC 31010:2022 «Керування ризиками –

методи оцінки ризиків». URL:
https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=100889

7. Національний стандарт України ДСТУ ISO Guide 73:2013 «Керування ризиком. Словник термінів». URL:https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=59682

References

1. Civil Protection Code of Ukraine. (2012). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17>

2. Methodology for forecasting the consequences of spills (releases) of hazardous chemicals during accidents at chemically hazardous facilities and during transport, approved by order of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine on November 29, 2019. No. 1000, registered with the Ministry of Justice of Ukraine on May 14, 2020, under No. 440/34723. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0440-20>

3. Procedure for managing risks of man-made emergencies and fires, approved by Order of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine No. 627 dated July 31, 2023, registered with the Ministry of

Justice of Ukraine on August 14, 2023, under No. 1397/40453. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1397-23#Text>

4. Methodology for assessing the risks of man-made emergencies and fires, approved by Order of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine No. 836 dated October 13, 2023, registered with the Ministry of Justice of Ukraine on November 2, 2023, under No. 1905/40961. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1905-23#Text>

5. Lytvynov, A. L. (2018). *Theory of Mass Service Systems: study guide*. Kharkiv: O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, 141 p.

6. DSTU EN IEC 31010:2022. Risk management - Risk assessment techniques. National Standard of Ukraine. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=100889

7. DSTU ISO Guide 73:2013. Risk management - Vocabulary. National Standard of Ukraine. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=59682

Хижняк Андрій Анатолійович – начальник, PhD, ГУ ДСНС України в Полтавській області, (вул. Решетилівська 26/1, 36007, м. Полтава, Україна).

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0005-174513-0432>

E-mail: poltava@dsns.gov.ua

Фірсов Сергій Анатолійович – в.о. начальника Навчально-методичного центру цивільного захисту та безпеки життєдіяльності Полтавської області (вул. Решетилівська, 26/1, 36007, м. Полтава, Україна).

E-mail: nmc.poltava@dsns.gov.ua

Ченчева Ольга Олександрівна – доктор технічних наук, доцент кафедри цивільної безпеки, охорони праці, геодезії та землеустрою; Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського (вул. Університетська, 20, м. Кременчук, 39600, Україна).

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5691-7884>

E-mail: chenchevaolga@gmail.com

Дикань Сергій Антонович - кандидат технічних наук, доцент, викладач, Навчально-методичний центр цивільного захисту та безпеки життєдіяльності Полтавської області, (вул. Решетилівська, 26/1, 36007, м. Полтава, Україна).

E-mail: sdikan@ukr.net

FORECASTING EMERGENCY SITUATIONS AND EVENTS DURING MARTIAL LAW

Purpose. The processing of statistical data and forecasting the risks of military emergencies and their consequences (using the Poltava region as an example) to increase the efficiency of civil protection forces' preparation.

Methodology. The study uses the mathematical apparatus of queuing systems, specifically the simplest Poisson process, to determine the probabilities of air raids, explosions, and human losses. The general risk assessment method - Event Tree Analysis (ETA) - based on inductive reasoning, was also applied to quantify possible scenarios.

Results. Based on the analysis of statistics in the Poltava region for the period from September 2024 to July 2025, the intensity of key events was determined: air raids (3.49 per day), explosions (1.04), casualties (1.39), and fatalities (0.26). The probabilities of these events occurring within a single day were calculated: the probability of at least one air raid is 97%, an explosion - 65%, casualties - 75%, and fatalities - 23%. A graphical

model (event tree) was constructed to identify emergency development scenarios from the initiating event (alarm) to the final consequences.

Novelty. The novelty lies in applying mathematical methods of queuing theory to specific events of martial law (missile and drone strikes) to transition from simple danger notification to full-scale forecasting of emergency probabilities. For the first time, using a specific rear region as an example, the probabilistic characteristics of military risks have been quantitatively assessed.

Practical Significance. The obtained predictive models allow authorities and risk management entities to make timely decisions regarding the preparation of civil protection forces, transferring educational institutions to online learning or remote work, and preparing medical facilities to receive casualties. The methodology can be scaled to other regions of Ukraine to create evidence-based response plans for wartime threats.

Keywords: emergency forecasting, martial law, air raid, risk, event flow, Poisson distribution, Event Tree Analysis (ETA).

Andrii Khyzhniak – Head, PhD, Main Department of the State Emergency Service of Ukraine in Poltava Oblast (26/1 Reshetylivska St., 36007, Poltava, Ukraine).

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0005-174513-0432>

E-mail: poltava@dsns.gov.ua

Sergey Firsov – Acting Head of the Educational and Methodological Center for Civil Protection and Life Safety of the Poltava Region (26/1 Reshetylivska St., 36007, Poltava, Ukraine).

E-mail: nmc.poltava@dsns.gov.ua

Olha Chenchewa – Doctor of Technical Sciences, 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).

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5691-7884>

E-mail: chenchevaolga@gmail.com

Serhii Dykan – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Lecturer, Educational and Methodological Center for Civil Protection and Life Safety of Poltava Region, (26/1 Reshetylivska St., 36007, Poltava, Ukraine).

E-mail: sdikan@ukr.net

УДК 66.013:614.84; 66.013:614.83

[https://doi.org/10.36910/3083-6255/2\(2\).2025.110-123](https://doi.org/10.36910/3083-6255/2(2).2025.110-123)

В.А. Цопа
С.І. Чеберячко
О.В. Дерюгін
К.А. Лапко
О.В. Станіславчук

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МОДЕЛЕЙ КУЛЬТУРИ БЕЗПЕКИ В ОРГАНІЗАЦІЯХ ЗГІДНО ВИМОГ СТАНДАРТУ ISO 45001:2018

***Метою** дослідження є порівняльний аналіз основних моделей культури безпеки для визначення можливостей їх практичного застосування з метою оцінки результативності систем управління безпекою праці та здоров'я працівників відповідно до вимог стандарту ISO 45001:2018.*

***Методи дослідження.** Для досягнення поставленої мети використано такі методи: визначення ключових показників культури безпеки, що відповідають структурі ISO 45001:2018; експертне оцінювання відповідності моделей зазначеним вимогам; узагальнення теоретичних підходів та розроблення рекомендацій щодо вдосконалення існуючих моделей оцінювання культури безпеки на підприємствах.*

***Результати дослідження.** У результаті дослідження встановлено, що модель кривої Бредлі найбільш комплексно охоплює показники, релевантні ISO 45001:2018. Інші моделі мають свої специфічні переваги (модель Різона підкреслює системні бар'єри, моделі Хадсона та Веструма – еволюційну зрілість та потік інформації, модель Шейна – глибинні культурні шари, модель Купера – динамічну взаємодію компонентів, а модель Геллера – соціально-психологічні аспекти поведінки, модель кривої Бредлі – особливий акцент на зміні поведінки та відповідальності працівників щодо безпеки), і потребують адаптації з урахуванням динаміки змін, культурного контексту та внутрішніх зв'язків у системах управління безпекою праці. Виявлено, що кожна модель має свої обмеження, включаючи проблеми з концептуальною чіткістю, складністю вимірювання, потенційним надмірним спрощенням та недостатнім врахуванням динаміки та культурного контексту. Обґрунтовано доцільність інтеграції підходів різних моделей з урахуванням психологічних, поведінкових, організаційних та ситуаційних чинників культури безпеки.*

***Наукова новизна** роботи полягає в тому, що вперше науково обґрунтовано порівняльну відповідність різних моделей культури безпеки вимогам стандарту ISO 45001:2018 та визначено ключові аспекти їх інтеграції для підвищення результативності систем управління охороною праці. Установлено схожі риси моделей культури безпеки, які включають такі елементи, як цінності, переконання, поведінка, лідерство, комунікація та навчання.*

***Практична цінність** отриманих результатів полягає у можливості їх використання підприємствами для вдосконалення системи оцінки культури безпеки як елемента управління охороною праці, з урахуванням вимог міжнародних стандартів та підвищення ефективності заходів щодо формування безпечної поведінки працівників.*

***Ключові слова:** культура безпеки, модель Різона, модель Хадсона, модель Шейна, модель Купера, модель Геллера, модель кривої Бредлі.*

Вступ. Термін «культура безпеки» є фундаментальним поняттям для розуміння та управління ризиками в організаціях, особливо у високо-ризикових галузях промисловості [1]. Вперше цей термін набув широкого розголосу після аналізу причин аварії на Чорнобильській АЕС, коли Міжнародна консультативна група з ядерної безпеки при МАГАТЕ визначила його як "набір характеристик і особливостей діяльності організацій та поведінки окремих осіб, який встановлює, що проблемам безпеки... приділяється увага, яка визначається їх значущістю" [2]. В організаційному контексті це сукупність правил, особливостей діяльності та поведінки персоналу, де особиста відповідальність і увага до безпеки мають найвищий пріоритет [3]. У ширшому сенсі,

культура безпеки відображає рівень розвитку людини і суспільства, що характеризується значущістю безпеки життєдіяльності в системі цінностей та безпечною поведінкою [4]. На практиці культура безпеки формує процеси з управління компанією, які спрямовані на зменшення небезпечної поведінки та позитивний вплив на ставлення та поведінку працівників з точки зору зниження ризику [5].

Розуміння різних моделей культури безпеки є критично важливим, оскільки вони пропонують концептуальні рамки для діагностики, оцінки та вдосконалення стану безпеки в організації. Ці моделі допомагають ідентифікувати сильні та слабкі сторони, визначати рівень зрілості культури та розробляти цілеспрямовані стратегії для її покращення. Культура безпеки виражає та

визначає психологічні та поведінкові характеристики підприємства, які можуть сприяти успіху або невдачі практики охорони праці [6]. Разом з тим, існування значної кількості різних моделей, які описують розвиток культури безпеки в організації призводить до необхідності вибору оптимальної щодо найкращого опису поточної ситуації на конкретному підприємстві. Виходячи з різних пріоритетів і поставлених задач в організації виникає потреба у визначенні відповідності фокусу, підходів, методів, що застосовуються в тій чи іншій моделі культури безпеки, які б дозволяли отримати керівництву необхідну інформацію для подальшого розвитку, вдосконалення чи поліпшення. Враховуючи, що більшість організацій запроваджує систему управління безпекою праці та здоров'я працівників згідно вимог ISO 45001:2018, виникає потреба в оцінюванні впливу наявної культури безпеки на результативність цієї системи. Звідси виникає актуальна задача з визначення моделі культури безпеки, яка дасть змогу оцінити результативність систем управління безпекою праці та здоров'я працівників відповідно до вимог ISO 45001:2018.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В роботі [7] наведено бібліометричний аналіз досліджень культури безпеки з 1978 по 2023 рік, в результаті якого виявлено тенденції та прогалини, які потребують подальшого дослідження. Так, автори зазначали, що опис розвитку культур безпеки в галузі транспорту, логістики, енергетики, освіти та будівництва, недостатньо представлений. Тому було розроблено рекомендації щодо спрямування наступних досліджень на вивчення цих «слабких ланок» для повного розуміння культури безпеки.

В роботі [8] автори запропонували оцінювати культуру безпеки в організації на основі спеціально розробленої анкети. Вона складається з двох частин. Перша визначає характеристики опитуваних, а друга містить 24 показники культури безпеки. Зокрема, досліджувалось відношення до навчання, виконання вимог, організації, розслідування нещасних випадків, соціальної підтримки. Разом з тим, автори не запропонували таку модель культури безпеки, яка дозволяла б відслідковувати динаміку змін в часі.

В роботі [9] автори аналізували концепції стійкої культури безпеки та моделі для оцінювання її зрілості за допомогою методу Дельфі. Визначалось п'ять рівнів зрілості, які можна використовувати для вимірювання рівня стійкості культури безпеки на основі опису 19 аспектів стійкої культури безпеки. Це дає змогу організаціям порівнювати свій поточний рівень зрілості культури безпеки та визначати дії, необхідні для досягнення вищого рівня зрілості. Обмеження дослідження полягає у відсутності пріоритизації критеріїв.

В роботі [10] автори висвітлили концептуальні засади формування культури безпеки в учасників освітнього процесу закладів вищої освіти, що дозволить в подальшому сформувати відповідні безпекові компетенції. Автори запропонували провести анкетування серед здобувачів вищої освіти щодо розуміння основних принципів культури безпеки, щоб з'ясувати необхідність подальшого вдосконалення освітніх програм з цивільної безпеки. В результаті були розроблені рекомендації щодо активізації виховних заходів на безпекову тематику, навчання, тренування, тренінги із залученням фахівців Державної служби України з надзвичайних ситуацій, медичних працівників.

В роботі [11] автори запропонували такий зміст терміну «культура безпеки - це набір відповідних характеристик, правил, норм і особливостей діяльності підприємства з урахуванням психологічної поведінки та кваліфікаційних здібностей окремих осіб, що приймають управлінські рішення, відповідно до їх пріоритетності та обумовленої значущості». Звідси були запропоновані напрямки дослідження рівня розвитку культури безпеки через встановлення здатності до адаптації; координованого управління; встановлення напряму соціальних категорій і обставин; напряму конфліктів, що в результаті формуватиме пріоритетні завдання для підвищення рівня культури безпеки.

В результаті аналізу зазначених робіт можна зробити висновок про необхідність дослідження рівня розвитку культури безпеки на підприємствах, оскільки це дозволить керівнику організації отримати відповідний додатковий інструмент для досягнення поставленої мети. Таким інструментарієм, наприклад, є визначення

ставлення працівників до виконання вимог з безпеки праці чи запровадження заходів щодо підвищення безпеки на робочому місці.

Метою дослідження є порівняльний аналіз основних моделей культури безпеки для визначення можливостей їх практичного застосування з метою оцінки результативності систем управління безпекою праці та здоров'я працівників відповідно до вимог стандарту ISO 45001:2018.

Методологія дослідження складалася з трьох кроків: 1) визначено показники, які впливають на культуру безпеки на підприємстві; 2) за допомогою експертного аналізу (опитуванням експертів) встановлено, яка модель культури безпеки найкраще відповідає вимогам стандарту ISO 45001:2018; 3) розроблено рекомендації

щодо вдосконалення існуючих моделей для оцінювання культури безпеки на підприємстві.

Показники, за якими проводився аналіз рівня культури безпеки, формувались на основі вимог стандарту ISO 45001:2018 [12]. Це дозволило охарактеризувати культуру безпеки на основі рівня виконання вимог з безпеки праці. При цьому можна застосувати результати внутрішніх аудитів системи управління безпекою праці та здоров'ям працівників в якості вихідних даних для проведення відповідного аналізу [13]. В таблиці 1 наведено опис відповідних показників для оцінки рівня культури безпеки.

Таблиця 1

Групи показників системи управління безпекою праці і здоров'ям працівників (СУ БПіЗП) для порівняльного аналізу моделей культури безпеки в організаціях

Групи показників		Показники по групах	
Позначення	Назва групи відповідно до вимог стандарту ISO 45001:2018	Позначення	Назва показника для характеристики рівня культури безпеки
1	2	3	4
П ¹	Середовище організації	П ¹ ₁	Наявність оцінювання очікувань зацікавлених сторін
		П ¹ ₂	Наявність оцінювання рівня задоволеності працівників
		П ¹ ₃	Визначення кількості скарг і звернень
		П ¹ ₄	Визначення рівня виконання вимог
П ²	Лідерства та участь працівників	П ² ₁	Наявність зобов'язань керівництва у сфері безпеки
		П ² ₂	Наявність зворотного зв'язку з робітниками
		П ² ₃	Наявність довіри між співробітниками
		П ² ₄	Визначення ставлення до виконання правил
П ³	Планування	П ³ ₁	Наявність реєстру виявлених небезпек
		П ³ ₂	Визначення рівня запровадження методів з оцінки ризику
		П ³ ₃	Наявність чітких цілей у сфері безпеки праці
		П ³ ₄	Наявність методик для визначення можливостей
П ⁴	Забезпечення	П ⁴ ₁	Наявність методів з оцінювання кількості ресурсів
		П ⁴ ₂	Наявність підходів до визначення компетентності
		П ⁴ ₃	Наявність способів інформування працівників
		П ⁴ ₄	Наявність каналів для обміну інформацією
П ⁵	Функціонування	П ⁵ ₁	Наявність дієвих запобіжних заходів
		П ⁵ ₂	Звітність та аналіз нещасних випадків
		П ⁵ ₃	Освіта з охорони праці
		П ⁵ ₄	Залученість співробітників

Продовження таблиці 1.

П ⁶	Оцінка дієвості	П ⁶ ₁	Моніторинг поведінки співробітників
		П ⁶ ₂	Наявність проведення внутрішніх аудитів
		П ⁶ ₂	Наявність аналізу ефективності системи управління
		П ⁶ ₄	Наявність підходів для оцінки дієвості запобіжних заходів
П ⁷	Поліпшення	П ⁷ ₁	Наявність процесу коригувальних дій
		П ⁷ ₂	Наявність процесу постійного поліпшення
		П ⁷ ₃	Наявність переглядів оцінювання ризиків
		П ⁷ ₄	Наявність звітності щодо нещасних випадків, розслідування та вжиття відповідних заходів.

Для аналізу було використано 6 основних моделей для оцінювання рівня культури безпеки в організаціях: модель швейцарського сиру [15, 16], модель Хадсона [17, 18], модель Шейна [19],

модель Купера [20], модель Гелера [21] і крива Бредлі [22, 23]. Основні характеристики зазначених моделей наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Опис основних моделей для визначення рівня культури безпеки

Показники	Моделі культури безпеки					
	Швейцарський сир	Хадсон (Драбина)	Шейн (Три рівні)	Купер (Взаємна модель)	Геллер (People-Based)	Крива Бредлі
Основний фокус	Системні бар'єри, латентні помилки, поінформована культура	Еволюційна зрілість культури, обробка інформації	Структура культури (глибинні припущення, цінності, артефакти)	Взаємодія: Психологія, Поведінка, Ситуація	Соціально-психологічні фактори, поведінка, активна турбота	Еволюція культури безпеки через стадії поведінки та відповідальності, зв'язок з кількістю травм
Структура/Рівні	Компоненти поінформованої культури (звітність, справедливність, навчання, гнучкість)	5 еволюційних рівнів	3 структурні рівні	3 взаємодіючі компоненти	7 принципів соціального впливу	4 стадії
Ключова метафора/Ідея	"Дірки" в захисних шарах	Сходження по "драбині" зрілості	"Айсберг" культури	Взаємний детермінізм	Активна турбота, соціальна динаміка	"Крива" розвитку від інстинктів до взаємозалежності
Підхід до змін	Зміцнення бар'єрів, покращення культури звітності/навчання	Поступове просування на вищий рівень через зміну цінностей та практик	Робота з базовими припущеннями через зміну артефактів та цінностей	Вплив на всі три компоненти, акцент на поведінкових показниках	Застосування принципів соціальної психології для зміни поведінки	Просування по стадіях через зміну поведінки, лідерства та культури
Типові методи оцінки	Аналіз інцидентів, опитування щодо компонентів культури	Опитувальники зрілості	Глибинні інтерв'ю, аналіз артефактів, спостереження	Опитування, аудит систем, спостереження за поведінкою	Спостереження за поведінкою, опитування	Самооцінка організації за характеристиками стадій, опитування працівників

На другому кроці для аналізу відповідності моделей культури безпеки до досліджень були залучені 8 експертів, які мають відповідний досвід роботи в сфері безпеки праці на керівних посадах зі стажем роботи не менше 10 років. Кожному експерту було видано відповідний чек-лист з наведеними в ньому групами показників, що характеризують дієвість СУ БПіЗП. Кожному експерту було запропоновано вказати за шкалою Лайкерта (від 0 до 3 балів) [14] чи застосовується хоч один із наведених показників для оцінюванні рівня культури безпеки в розглянутих моделях. У разі застосування ставиться 3 бали у разі відсутності 0. У разі часткового застосування 2. Також кожному експерту пропонувалося навести коротке обґрунтування виставленого балу, як відповідь на питання, чому саме так він вважає.

На третьому кроці, проводився аналіз відповідей експертів для визначення рекомендацій щодо вдосконалення існуючих моделей для оцінки рівня культури безпеки. **Виклад основного матеріалу.** Результати експертних оцінок відповідності показників моделей культури безпеки вимогам стандарту ISO 45001:2018 наведено в таблиці 3. Встановлено, що крива Бредлі найбільше відповідає вимогам ISO 45001:2018. Зроблений висновок підкріплений узагальненими експертними думками з приводу відповідності показників моделей культури безпеки вимогам стандарту ISO 45001:2018, які наведені в таблиці 4. Крім того, при визначенні бальних оцінок експерти звертали увагу як на спільні риси, так і суттєві відмінності моделей. Це дозволяло визначити відповідні відмінності та переваги різних підходів.

Таблиця 3

Результати експертних оцінок відповідності показників моделей культури безпеки вимогам стандарту ISO 45001:2018

№	Назва групи показників у відповідності до вимог стандарту ISO 45001:2018	Позначення	Моделі культури безпеки					
			Швейцарський сир	Хадсон (Драбина)	Шейн (Три рівні)	Купер (Взаємна модель)	Геллер (People-Based)	Крива Бредлі
1	Середовище організації	P ¹ ₁	1,3	1,0	1,3	0,7	0,7	1,3
		P ¹ ₂	1,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0
		P ¹ ₃	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0
		P ¹ ₄	0,0	1,0	1,0	0,0	1,0	1,0
2	Лідерства та участь працівників	P ² ₁	1,3	2,0	1,7	1,0	2,0	1,0
		P ² ₂	0,0	1,6	1,0	1,0	1,0	1,0
		P ² ₃	0,3	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0
		P ² ₄	1,0	1,3	1,0	0,0	1,3	0,0
3	Планування	P ³ ₁	2,0	1,0	0,0	0,0	0,0	1,0
		P ³ ₂	2,0	0,0	0,0	1,0	0,3	0,7
		P ³ ₃	2,0	1,3	0,0	1,3	1,3	2,0
		P ³ ₄	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0
4	Забезпечення	P ⁴ ₁	2,0	2,0	0,0	0,0	1,0	1,0
		P ⁴ ₂	1,0	1,0	0,0	1,3	1,0	1,0
		P ⁴ ₃	0,3	0,0	1,0	0,0	0,0	1,3
		P ⁴ ₄	0,0	1,0	1,0	0,0	1,0	1,0
5	Функціонування	P ⁵ ₁	2,0	1,0	0,0	0,7	1,0	2,0
		P ⁵ ₂	2,0	1,0	1,0	1,0	1,3	2,0
		P ⁵ ₃	1,0	0,7	0,3	0,0	1,3	1,3
		P ⁵ ₄	1,0	1,0	0,0	0,0	2,0	2,0
6	Оцінка дієвості	P ⁶ ₁	2,0	2,0	0,0	1,0	1,0	2,0
		P ⁶ ₂	2,0	0,7	0,0	0,3	0,0	2,0
		P ⁶ ₃	1,0	0,7	0,0	0,0	0,0	1,7
		P ⁶ ₄	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	1,0
7	Поліпшення	P ⁷ ₁	2,0	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0
		P ⁷ ₂	1,0	0,0	0,3	0,3	0,0	2,0
		P ⁷ ₃	1,0	0,0	0,0	0,3	0,0	2,0
		P ⁷ ₄	2,0	1,0	0,0	0,0	2,0	2,0
Сума			32,2	26,3	11,6	11,9	24,2	34,3

Таблиця 4

Результати експертних думок відповідності показників, визначених за вимогами стандарту ISO 45001:2018 і моделями культури безпеки

№	Назва групи	Моделі культури безпеки					
		Швейцарський сир	Хадсон Драбина	Шейн (Три рівні)	Модель Купера	Геллер (People-Based)	Крива Бредлі
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Середовище організації	Враховує через аналіз внутрішніх наявних бар'єрів між небезпекою і небезпечною подією	Враховує через інтеграцію безпеки у всі аспекти діяльності організації	Враховує через необхідність виявлення різних потоків інформації	Враховує через потребу визначення всіх ситуаційних впливів	Враховує через виявлення видимих аспектів, пов'язаних з безпекою	Враховує через необхідність визначення чинників, які призводять до травматизму
2	Лідерства та участь працівників	Враховує частково завдяки виявленню недоліків у відповідних шарах «сиру» СУ БПЗП	Враховує через поширення інформації, зворотний зв'язок	Частково враховує через визначення ставлення до безпеки працівників	Враховує частково через необхідність у дослідженні внутрішніх чинників мотивації	Враховує частково, потрібно визначити вплив керівників на дії працівників	Враховує через необхідність визначення мотивації, самомотивації, взаємодії підтримки
3	Планування	Враховує для з'ясування, як навчання працівників впливає на рівень безпеки	-	-	Враховує частково через потребу оцінювання небезпек	-	Враховує частково через потребу оцінювання впливу середовища на небезпечні дії працівників
4	Забезпечення	Враховує через визначення ефективності управління безпекою	Враховує через визначення ефективності управління безпекою	Враховує через визначення ресурсів для безпеки	-	-	Враховує через необхідність заохочення безпечної поведінки працівників
5	Функціонування	Враховує через визначення різниці між прийнятною та неприйнятною поведінкою	-	Враховує через дослідження фізичного робочого середовища	Враховує частково через потребу виявлення психологічних впливів на працівника	Враховує через необхідність виявлення впливу організаційних умов на поведінку працівників	Враховує через виявлення залежності між рівнем виконання вимог з безпеки і травматизмом
6	Оцінка дієвості	Враховує через виявлення готовності повідомляти про помилки та небезпечні ситуації	Враховує через оцінювання дієвості системи, процедур, на основі збору даних та аудиту	Враховує через визначення рівня трансформації базових припущень	Враховує через необхідність спотереження за поведінкою людей	Враховує через необхідність з'ясування, як дії працівників спрямовані на покращення безпеки	Враховує через необхідність визначення показників травматизму

Продовження таблиці 4.

1	2	3	4	5	6	7	8
7	Поліпшення	Враховує через виявлення здатності до адаптації до мінливих вимог	Враховує через необхідність досягнення показників для переходу на наступний рівень	-	-	Враховує через зосередження дій працівників щодо поліпшення	Враховує через необхідність досягнення показників для переходу на наступний рівень

Експерти погодились, що усіх моделях розглядаються не лише формальні системи та процедури, але й такі аспекти як спільні цінності, переконання, ставлення та норми поведінки, вчинки керівництва, що формують усвідомлене відношення до безпеки.

До спільних рис розглянутих моделей експерти відносять фокус на цінностях, переконаннях та поведінці працівників. Ще однією спільною рисою, яку зазначають деякі експерти, є необхідність оцінювання розвитку культури безпеки через встановлення частоти інцидентів, травм та аварій, а також досягнення поставлених цілей.

До відмінностей було віднесено інструменти з оцінки середовища в організаціях. Наприклад, модель Різона зосереджується на виявленні системних недоліків та визначенні недоліків у захисних бар'єрів для зниження ймовірності настання небезпечної події. При цьому культура безпеки розглядається як чинник, що впливає на ефективність застосування бар'єрів (через своєчасне виявлення і усунення недоліків).

Модель Хадсона акцентує увагу на визначенні ставлення працівників до безпеки у працівників, що дозволяє на основі обробки інформації визначати рівень зрілості культури безпеки.

Модель Шейна досліджує артефакти, цінності, припущення для визначення рівня культури безпеки, які дають змогу встановити відношення працівників до безпечного виконання виробничих завдань [23].

Модель Купера направлена на виявлення динамічної взаємодії між психологічними, поведінковими та ситуаційними чинниками, які формують рівень культури безпеки [24].

Модель Геллера, концентрується на індивідуальній та груповій психології, соціальних впливах та поведінкових аспектах безпеки [25].

Крива Бредлі фокусується на загальних організаційних чинниках (мотивації, дисципліни, виконання вимог, залучення працівників, підтримки керівників та інше), що призводять до зміни поведінки та рівня відповідальності працівників щодо зменшення кількості нещасних випадків [22].

Також до відмінних рис моделей культури безпеки відносять різницю в оцінках рівня розвитку. Наприклад, якщо модель Хадсона і крива Бредлі пропонують чіткі еволюційні рівні зростання з детальним описом кожного, то модель Шейна пропонує тільки структурні рівні розвитку, які існують одночасно, а не послідовно. Подібні підходи запропоновані в моделі Різона, яка виділяє декілька компонентів поінформованості працівників (звітність, справедливість тощо), що характерні зрілій культурі, а не етапами розвитку. В моделі Купера визначаються тільки взаємодіючі компоненти (психологія, поведінка, ситуація), які дозволяють виявити розвиток культури безпеки, а не рівні її зрілості.

На основі проведених оцінок були виявлені обмеження розглянутих моделей культури безпеки (табл. 4).

Таблиця 5

Виявлені обмеження розглянутих моделей культури безпеки

Вид моделі	Виявлені обмеження
1	2
модель Різона	Надмірне спрощення у визначенні причин небезпечних подій у складних технічних системах, а також потенційне ігнорування взаємодії між різними рівнями захисту [15, 25].

Продовження таблиці 5

1	2
модель Хадсона	Запропонована лінійна модель залежності культури безпеки від ставлення працівників до виконання вимог з безпеки праці [18, 26]. При цьому описи рівнів культури безпеки занадто загальні, що ускладнює представлену інформацію для постановки конкретних цілей.
модель Шейна	Доволі складна, що проявляється у виявленні та зміні глибоких базових припущень, які є несвідомими та негнучкими до змін; інтерпретація артефактів може бути суб'єктивною без розуміння глибших рівнів. Модель також критикується за надмірну простоту та припущення про монолітність організаційної культури [27].
модель Купера	Призводить до ігнорування глибинних системних проблем, які лежать в основі поведінки працівника.
модель Геллера	Фокусується на індивідуальній поведінці, що може призвести до потенційного "звинувачення жертви" (blaming the victim), якщо не врахувати належним чином системні та організаційні чинники, які впливають на поведінку працівників.

Обговорення. Практичне покращення культури безпеки є складним і тривалим процесом, що стикається з низкою проблем, зокрема [28, 29, 30]:

- опір змінам, базові припущення та усталені норми поведінки є негнучкими до змін;
- необхідність лідерської прихильності, без активної та видимої підтримки з боку вищого керівництва зусилля з покращення культури приречені на провал;
- ресурси, покращення культури вимагає інвестицій часу, грошей та людських ресурсів (навчання, нові системи, час на обговорення);
- вимірювання прогресу, відстеження реальних змін у культурі, а не лише в сприйнятті;
- підтримка сталості, досягнуті покращення можуть з часом зникати, якщо не докладати постійних зусиль для їх підтримки;
- тиск виробництва, конфлікт між цілями безпеки та виробничими/комерційними цілями є постійним викликом;
- культурна різноманітність, у великих або міжнародних організаціях необхідно враховувати відмінності в субкультурах та національних культурах.

Успішне покращення культури безпеки вимагає комплексного, системного підходу, що враховує всі аспекти моделей (психологічні, поведінкові, ситуаційні), сильної лідерської волі, залучення персоналу

на всіх рівнях та постійного моніторингу й адаптації.

Дослідження та практика в галузі культури безпеки продовжують розвиватися, реагуючи на виявлені обмеження існуючих моделей та нові виклики. Зростає усвідомлення того, що жодна окрема модель не може повністю охопити всю складність культури безпеки. Тому спостерігається тенденція до інтеграції різних підходів. Наприклад, дослідники намагаються поєднати структурний підхід Шейна з еволюційними моделями Хадсона/Веструма або інтегрувати психологічні, поведінкові та ситуаційні аспекти моделі Купера в єдину рамку [31]. Такий інтегрований підхід може забезпечити більш повне та збалансоване розуміння, поєднуючи аналіз глибинних припущень, оцінку рівня зрілості та вимірювання конкретних поведінкових та системних факторів [32].

Визнання того, що культура безпеки формується в ширшому національному та організаційному культурному контексті, стимулює розвиток крос-культурних досліджень. Дослідники вивчають, як національні культурні виміри (за Хофстеде чи іншими моделями) впливають на сприйняття безпеки, ефективність управлінських практик та загальний рівень культури безпеки в різних країнах. Це має важливе значення для міжнародних компаній, яким необхідно адаптувати свої підходи до управління безпекою до місцевих культурних особливостей. Майбутні

дослідження мають на меті розробити більш адаптивні та культурно-чутливі моделі та інструменти оцінки.

З'являються нові концепції, що прагнуть оновити та розширити традиційне розуміння культури безпеки. Терміни на кшталт "Safety Culture 2.0" або "Next Generation Safety Culture" використовуються для позначення підходів, які можуть включати [33]:

- Більший акцент на динамічному навчанні та управлінні знаннями, використовуючи сучасні технології (наприклад, системи управління навчанням - LMS) для сприяння двосторонньому потоку інформації та колективному навчанню.

- Посилення ролі лідерства та підзвітності як ключових елементів "ребрендингу" культури безпеки.

- Інтеграцію з інженерією стійкості (Resilience Engineering), що розглядається нижче.

- Можливо, більший фокус на психологічній безпеці як необхідній умові для відкритої комунікації та навчання на помилках.

Ці концепції прагнуть зробити культуру безпеки більш адаптивною, проактивною та інтегрованою в сучасні цифрові та організаційні реалії.

Інженерія стійкості (RE) – це підхід, що фокусується на здатності системи (включаючи людей, технології та організацію) адаптуватися та успішно функціонувати в умовах мінливості, невизначеності та несподіваних подій. RE розглядає безпеку не просто як відсутність негативних подій, а як наявність здатності до успішної адаптації [34].

Існує зростаючий інтерес до інтеграції концепцій RE та культури безпеки. "Стійка культура безпеки" (Resilient Safety Culture) [35] розглядається як культура, що не лише прагне запобігати помилкам (як у традиційних моделях), але й активно розвиває здатність передбачати, моніторити, реагувати та вчитися на несподіваних подіях. Це передбачає розвиток таких характеристик, як гнучкість, усвідомленість ситуації, готовність до адаптації та постійне навчання. Цей підхід визнає, що повне усунення помилок і несподіванок неможливе, тому ключовою стає здатність системи справлятися з ними ефективно. Майбутні дослідження спрямовані на

розробку моделей та методів для оцінки та підвищення саме стійкості культури безпеки.

Висновки

1. Проведено аналіз основних моделей культури безпеки (Різона, Хадсона, Веструма, Шейна, Купера, Геллера, Кривої Бредлі) щодо відповідності їх показників для оцінки результативності систем управління безпекою праці та здоров'я працівників відповідно до вимог ISO 45001:2018, який показав, що крива Бредлі дозволяє найкраще забезпечити відповідність оцінювання.

2. Встановлено, що кожна модель пропонує цінну перспективу: модель Різона підкреслює системні бар'єри, моделі Хадсона та Веструма – еволюційну зрілість та потік інформації, модель Шейна – глибинні культурні шари, модель Купера – динамічну взаємодію компонентів, а модель Геллера – соціально-психологічні аспекти поведінки, модель кривої Бредлі – особливий акцент на зміні поведінки та відповідальності працівників щодо безпеки. Однак кожна модель має свої обмеження, включаючи проблеми з концептуальною чіткістю, складністю вимірювання, потенційним надмірним спрощенням та недостатнім врахуванням динаміки та культурного контексту.

3. Практичне застосування моделей вимагає використання різноманітних інструментів оцінки (опитувальників, інтерв'ю, спостережень) та усвідомлення викликів, пов'язаних із впровадженням змін та підтримкою сталості покращень.

4. Для подальшого розвитку знань щодо моделей культури безпеки необхідні дослідження, спрямовані на:

- досягнення більшого консенсусу щодо визначення та ключових вимірів культури безпеки;

- розробку та валідацію надійних та стандартизованих інструментів вимірювання, що враховують різні рівні та компоненти культури;

- поглиблення розуміння зв'язку між культурою безпеки та реальними показниками безпеки через лонгітюдні та інтервенційні дослідження;

- подальшу інтеграцію моделей культури безпеки з теоріями організаційної культури, соціальної психології та інженерії стійкості;

– проведення крос-культурних досліджень для адаптації моделей до різних національних та галузевих контекстів.

Список літератури

1. Zhurbynskyi, D., & Tarasenko, A. (2018). Культура безпеки як система знань та умова сталого розвитку суспільства. Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, (17), 47-52. <https://doi.org/https://doi.org/10.32447/20784643.17.2018.06>
2. Klevtsov, S., Valigun, N., Nosovskyi A., & Komarov, I. (2009). Культура безпеки у сфері використання ядерної енергії. Ядерна та радіаційна безпека, 12(3), 56-64. [https://doi.org/10.32918/nrs.2009.12-3\(43\).11](https://doi.org/10.32918/nrs.2009.12-3(43).11).
3. Ісаєв С. Формування культури безпеки життєдіяльності у вищих навчальних закладах України. Культура безпеки, екології та здоров'я. 2010. № 2. С. 27–29.
4. Романів Л., Бойчук Р. Культура безпеки, як складова базової культури особистості. Молодий вчений. 2017. № 3. С. 43.
5. Головка Д.Ю., Кравченко Г.Ю. Оцінка ризиків та розробка заходів з охорони праці та безпеки життєдіяльності в закладі професійної (професійно-технічної) освіти: електронний навчальний курс / Д.Ю. Головка, Г.Ю. Кравченко. Біла Церква : БІНПО ДЗВО «УМО» НАПН України, 2024 р. 50 с.
6. Al-Mekhlafi, A.-B.A.; Kanwal, N.; Alhajj, M.N.; Isha, A.S.N.; Baarimah, A.O. Trends in Safety Culture Research: A Scopus Analysis. *Safety* 2025, 11, 33. <https://doi.org/10.3390/safety11020033>.
7. Pedrosa, M.H.; Salazar, A.K.; Cardoso, C.; Guedes, J.C. Study on Safety Culture Following the Implementation of a Near-Miss Management System in the Traditional Manufacturing Industry. *Safety* 2025, 11, 23. <https://doi.org/10.3390/safety11010023>.
8. Trinh, M.T.; Feng, Y. A Maturity Model for Resilient Safety Culture Development in Construction Companies. *Buildings* 2022, 12, 733. <https://doi.org/10.3390/buildings12060733>
9. Fleming, M.; Harvey, K.; Cregan, B. Safety culture research and practice: A review of 30 years of research collaboration. *J. Appl. Biobehav. Res.* 2018, 23, e12155.
10. Азізов, Т., Люльченко, В., & Орлова, О. (2024). Концептуальні засади формування культури безпеки в учасників освітнього процесу закладів вищої освіти. Збірник наукових праць Уманського державного педагогічного університету, (1), 102–109. <https://doi.org/10.31499/2307-4906.1.2024.302211>.
11. Прохорова В. В., Мушнікова С. А. Культура безпеки розвитку – культура комунікаційовання як основа інтелектуалізації управлінського процесу. Проблеми економіки. 2019. №4. С. 142–148. <https://doi.org/10.32983/2222-0712-2019-4-142-148>.
12. Кадиров Р.А. Процесний підхід до вимог ISO 45001:2018. Проектування процесів у системі управління безпекою та охороною праці: Огляд стандарту. – Видавничий дім «НАУКОВА БІБЛІОТЕКА», 2021. – 572 с.
13. Чеберячко, Ю.І., Дерюгін, О.В., Архирей, М.М. (2021). Удосконалення процедури проведення поведінкового аудиту безпеки праці. Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки, 43, 179-190. DOI:10.32782/2225-6733.43.2021.22.
14. Стаднік А. В., Мельник Ю. Б. Шкала задоволеності життям: метод. посіб. (укр.версія). Харків: ХОГОКЗ. 2023. 8 с. <https://doi.org/10.26697/sri.krpochn/stadnik.melnyk.3.2023>.
15. Reason, J. Achieving a safe culture: Theory and practice. *Work & Stress* 1998, 12, 293–306.
16. Reason, J.T. (1997) Managing the Risks of Organisational Accidents. Ashgate, Aldershot.
17. Hudson, P.T.W., Parker, D., Lawton, R., Verschuur, W.L.G., van der Graaf, G.C. & Kalff, J. (2000) The Hearts and Minds Project: Creating Intrinsic Motivation for HSE. Proceedings 5th Society for Petroleum Engineering International Conference on Health, Safety and Environment in Oil and Gas Production and Exploration. CDROM, SPE, Richardson, Texas
18. Hudson, P.T.W (1998) Safety Culture – The Way Ahead? Theory and Practical Principles. In L. Hartley, E. Derricks, S. Nathan & D. MacLeod (Eds.) Profiting Through Safety. Proceedings of the 1st International Aviation Safety Management Conference. IASMC, Perth. pp 93-102.
19. Weick, K.E. (1987) Organizational Culture as a Source of High Reliability. *California Management Review*, 29, 112-127.
20. Cooper, D. Safety culture. *Prof. Saf.* 2002, 47, 30–36.
21. Chudek, M., Heller, S., Birch, S., & Henrich, J. (2012). Prestigebiased cultural learning: Bystander's differential attention to potential models influences children's learning. *Evolution and Human Behavior*, 33, 46–56.
22. DuPont Bradley Curve. (2019). Available at: www.dupont.com/products-and-services/consulting.../bradley-curve.htm
23. Turner, B. A., Pidgeon, N. F., Blockley, D. I., & Toft, B. (1989). Safety culture: Its importance in future risk management. Position paper for the Second World Bank Workshop on

Safety Control and Risk Management, Karlstad, Sweden.

24. Rasmussen, J.; Suedung, I. *Proactive Risk Management in a Dynamic Society*; Swedish Rescue Services Agency: Karlstad, Sweden, 2000

25. Cooper, M.D. (2016) Navigating the Safe Culture Construct: A Review of the Evidence, IN: Be-Safe Management Solutions Evidence Inc. (BSMS). Available at: http://www.behavioralsafety.com/articles/safety_culture_review.pdf.

26. Westrum, R. (1993) Cultures with Requisite Imagination. In J.Wise, P.Stager & J.Hopkin (Eds.) *Verification and Validation in Complex Man-Machine Systems*. Springer, New York pp 401-416.

27. Westrum, R. (1997) Social Factors in Safety-Critical Systems. In F. Redmill & J.A. Ragan (Eds.) *Human Factors in Safety-Critical Systems*. Butterworth/Heinemann, New York. pp 233-256.

28. Westrum, R. & Adamski, A.J. (1999) Organizational Factors Associated with Safety and Mission Success in Aviation Environments. In D.J.Garland, J.A. Wise & V.D.Hopkin (Eds.) *Handbook of Aviation Human Factors*. Lawrence Erlbaum, Mahwah, NJ. pp 67-104.

29. DeJoy, D. M.; Schaffer, B. S.; Wilson, M. G.; Vandenberg, R. J.;& Butts, M. M. (2004). Creating safer workplaces: Assessing the determinants and role of safety climate. *Journal of Safety Research*, 35(1), 81-90.

30. DeJoy, D. M.; Schaffer, B. S.; Wilson, M. G.; Vandenberg, R. J.;& Butts, M. M. (2004). Creating safer workplaces: Assessing the determinants and role of safety climate. *Journal of Safety Research*, 35(1), 81-90.

31. McDonald, N.; Corrigan, S.; Daly, C.; & Cromie, S. (2000). Safety management systems and safety culture in aircraft maintenance organizations. *Safety Science*, 34(1-3), 151-176.

32. Zohar, D. (2000). A group-level model of safety climate: Testing the effect of group climate on micro accidents in manufacturing jobs. *Journal of Applied Psychology*, 85 (4), 587-596

33. Vanderhaegen, F. Erik Hollnagel: Safety-I and Safety-II, the past and future of safety management. *Cogn Tech Work* 17, 461–464 (2015). https://www.researchgate.net/publication/285396555_Erik_Hollnagel_Safety-I_and_Safety-II_the_past_and_future_of_safety_management.

34. Sexton, J. B.;Helmreich, R. L.; Neilands, T. B.; Rowan, K.; Vella, K.; Boyden, J.; Roberts, P. R.; & Thomas, E. J. (2006).The Safety Attitudes Questionnaire: Psychometric Properties, Benchmarking Data, and Emerging Research. *BMC Health Services Research*;6:44.

35. Morrow, S.; Koves, K.;& Barnes, V. E. (2014). Exploring the relationship between safety culture and safety performance in U.S. nuclear power operations. *Safety Science*, 69, 37–47. .

References

1. Zhurbynskyi, D., & Tarasenko, A. (2018). Kultura bezpeky yak systema znan ta umova staloho rozvytku suspilstva [Safety culture as a system of knowledge and a condition for sustainable development of society]. *Visnyk Lvivskoho Derzhavnoho Universytetu Bezpeky Zhyttiediialnosti*, (17), 47–52. <https://doi.org/10.32447/20784643.17.2018.06>

2. Klevtsov, S., Valigun, N., Nosovskyi, A., & Komarov, I. (2009). Kultura bezpeky u sferi vykorystannia yadernoi enerhii [Safety culture in the field of nuclear energy use]. *Yaderna ta radiatsiina bezpeka*, 12(3), 56–64. [https://doi.org/10.32918/nrs.2009.12-3\(43\).11](https://doi.org/10.32918/nrs.2009.12-3(43).11)

3. Isaiev, S. (2010). Formuvannia kultury bezpeky zhyttiediialnosti u vyshchikh navchalnykh zakladakh Ukrainy [Formation of life safety culture in higher education institutions of Ukraine]. *Kultura bezpeky, ekolohii ta zdorovia*, (2), 27–29.

4. Romaniv, L., & Boichuk, R. (2017). Kultura bezpeky yak skladova bazovoi kultury osobystosti [Safety culture as a component of the basic culture of personality]. *Molodyi vchenyi*, (3), 43.

5. Holovko, D. Yu., & Kravchenko, H. Yu. (2024). Otsinka ryzykiv ta rozrobka zakhodiv z okhorony pratsi ta bezpeky zhyttiediialnosti v zakladi profesiinoi (profesiino-tekhnichnoi) osvity: Elektronnyi navchalnyi kurs [Risk assessment and development of occupational safety and life safety measures in vocational (professional and technical) education institutions: E-learning course]. Bilo Tserkva Institute of Continuing Professional Education of the State Higher Education Institution “University of Educational Management”, National Academy of Educational Sciences of Ukraine.

6. Al-Mekhlafi, A.-B. A., Kanwal, N., Alhaji, M. N., Isha, A. S. N., & Baarimah, A. O. (2025). Trends in safety culture research: A Scopus analysis. *Safety*, 11(2), 33. <https://doi.org/10.3390/safety11020033>

7. Pedrosa, M. H., Salazar, A. K., Cardoso, C., & Guedes, J. C. (2025). Study on safety culture following the implementation of a near-miss management system in the traditional manufacturing industry. *Safety*, 11(1), 23. <https://doi.org/10.3390/safety11010023>

8. Trinh, M. T., & Feng, Y. (2022). A maturity model for resilient safety culture development in construction companies. *Buildings*, 12(6), 733. <https://doi.org/10.3390/buildings12060733>

9. Fleming, M., Harvey, K., & Cregan, B. (2018). Safety culture research and practice: A review of 30 years of research collaboration. *Journal of Applied Behavioral Research*, 23, e12155. <https://doi.org/10.1111/jabr.12155>

10. Azizov, T., Liulchenko, V., & Orlova, O. (2024). Kontseptualni zasady formuvannia kultury bezpeky v uchasnykh osvithnoho protsesu zakladiv vyshchoi osvity [Conceptual foundations of forming a safety culture among participants in the educational process of higher education institutions]. *Zbirnyk naukovykh prats Umanskoho Derzhavnoho Pedahohichnoho Universytetu*, (1), 102–109. <https://doi.org/10.31499/2307-4906.1.2024.302211>
11. Prokhorova, V. V., & Mushnykova, S. A. (2019). Kultura bezpeky rozvytku – kultura komunikatsiuvannia yak osnova intelektualizatsii upravlinskoho protsesu [Safety culture of development and communication culture as the basis of managerial process intellectualization]. *Problemy ekonomiky*, (4), 142–148. <https://doi.org/10.32983/2222-0712-2019-4-142-148>
12. Kadyrov, R. A. (2021). Protseyny pidkhd do vymoh ISO 45001:2018. Proektuvannia protsesiv u systemi upravlinnia bezpekoiu ta okhoroioiu pratsi: Ohliad standartu [Process approach to ISO 45001:2018 requirements: Process design in occupational health and safety management systems—A standard review]. Scientific Library Publishing House.
13. Cheberiachko, Yu. I., Deryuhin, O. V., & Arkhirei, M. M. (2021). Udoskonalennia protsedury provedennia povedinkovoho audytu bezpeky pratsi [Improving the procedure for conducting a behavioral occupational safety audit]. *Visnyk Pryazovskoho Derzhavnoho Tekhnichnoho Universytetu. Serii: Tekhnichni Nauky*, 43, 179–190. <https://doi.org/10.32782/2225-6733.43.2021.22>
14. Stadnik, A. V., & Melnyk, Yu. B. (2023). Shkala zadovolenosti zhyttiam: Metodychnyi posibnyk (ukrainska versia) [Satisfaction with Life Scale: Methodological guide (Ukrainian version)]. Kharkiv Regional Public Organization of Psychologists and Coaches. <https://doi.org/10.26697/sri.krpochn/stadnik.melnyk.3.2023>
15. Reason, J. (1998). Achieving a safe culture: Theory and practice. *Work & Stress*, 12(3), 293–306. <https://doi.org/10.1080/02678379808256868>
16. Reason, J. T. (1997). Managing the risks of organisational accidents. Ashgate.
17. Hudson, P. T. W., Parker, D., Lawton, R., Verschuur, W. L. G., van der Graaf, G. C., & Kalff, J. (2000). The Hearts and Minds Project: Creating intrinsic motivation for HSE. In *Proceedings of the 5th Society for Petroleum Engineers International Conference on Health, Safety and Environment in Oil and Gas Production and Exploration*. Society for Petroleum Engineers.
18. Hudson, P.T.W (1998) Safety Culture – The Way Ahead? Theory and Practical Principles. In L. Hartley, E. Derricks, S. Nathan & D. MacLeod (Eds.) *Profiting Through Safety*. Proceedings of the 1st International Aviation Safety Management Conference. IASMC, Perth. pp 93-102.
19. Weick, K.E. (1987) Organizational Culture as a Source of High Reliability. *California Management Review*, 29, 112-127.
20. Cooper, D. Safety culture. *Prof. Saf.* 2002, 47, 30–36.
21. Chudek, M., Heller, S., Birch, S., & Henrich, J. (2012). Prestige-biased cultural learning: Bystander's differential attention to potential models influences children's learning. *Evolution and Human Behavior*, 33, 46–56.
22. DuPont Bradley Curve. (2019). Available at: www.dupont.com/products-and-services/consulting.../bradley-curve.htm
23. Turner, B. A., Pidgeon, N. F., Blockley, D. I., & Toft, B. (1989). Safety culture: Its importance in future risk management. Position paper for the Second World Bank Workshop on Safety Control and Risk Management, Karlstad, Sweden.
24. Rasmussen, J.; Suedung, I. *Proactive Risk Management in a Dynamic Society*; Swedish Rescue Services Agency: Karlstad, Sweden, 2000
25. Cooper, M.D. (2016) Navigating the Safe Culture Construct: A Review of the Evidence, IN: *Be-Safe Management Solutions Evidence Inc. (BSMS)*. Available at: http://www.behavioralsafety.com/articles/safety_culture_review.pdf.
26. Westrum, R. (1993) Cultures with Requisite Imagination. In J.Wise, P.Stager & J.Hopkin (Eds.) *Verification and Validation in Complex Man-Machine Systems*. Springer, New York pp 401-416.
27. Westrum, R. (1997) Social Factors in Safety-Critical Systems. In F. Redmill & J.A. Ragan (Eds.) *Human Factors in Safety-Critical Systems*. Butterworth/Heinemann, New York. pp 233-256.
28. Westrum, R. & Adamski, A.J. (1999) Organizational Factors Associated with Safety and Mission Success in Aviation Environments. In D.J.Garland, J.A. Wise & V.D.Hopkin (Eds.) *Handbook of Aviation Human Factors*. Lawrence Erlbaum, Mahwah, NJ. pp 67-104.
29. DeJoy, D. M.; Schaffer, B. S.; Wilson, M. G.; Vandenberg, R. J.;& Butts, M. M. (2004). Creating safer workplaces: Assessing the determinants and role of safety climate. *Journal of Safety Research*, 35(1), 81-90.
30. DeJoy, D. M.; Schaffer, B. S.; Wilson, M. G.; Vandenberg, R. J.;& Butts, M. M. (2004). Creating safer workplaces: Assessing the determinants and role of safety climate. *Journal of Safety Research*, 35(1), 81-90.
31. McDonald, N.; Corrigan, S.; Daly, C.; & Cromie, S. (2000). Safety management systems and safety culture in aircraft maintenance organizations. *Safety Science*, 34(1-3), 151-176.

32. Zohar, D. (2000). A group-level model of safety climate: Testing the effect of group climate on micro accidents in manufacturing jobs. *Journal of Applied Psychology*, 85 (4), 587-596

33. Vanderhaegen, F. Erik Hollnagel: Safety-I and Safety-II, the past and future of safety management. *Cogn Tech Work* 17, 461–464 (2015). https://www.researchgate.net/publication/285396555_Erik_Hollnagel_Safety-I_and_Safety-II_the_past_and_future_of_safety_management.

34. Sexton, J. B.; Helmreich, R. L.; Neilands, T. B.; Rowan, K.; Vella, K.; Boyden, J.; Roberts, P. R.;

& Thomas, E. J. (2006). The Safety Attitudes Questionnaire: Psychometric Properties, Benchmarking Data, and Emerging Research. *BMC Health Services Research*; 6:44.

35. Morrow, S.; Koves, K.; & Barnes, V. E. (2014). Exploring the relationship between safety culture and safety performance in U.S. nuclear power operations. *Safety Science*, 69, 37–47.

Цопа Віталій Андрійович - доктор технічних наук, професор, професор кафедри Менеджменту та економіки при Міжнародному інституті менеджменту (МІМ-Київ), професор кафедри охорони праці та цивільної безпеки, (вул. Шулявська, 10/12 В, Київ, 04116, Україна)

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-002-4811-3712>

E-mail: dr.tsopav@gmail.com

Чеберячко Сергій Іванович - професор, доктор технічних наук, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» (пр. Дмитра Яворницького 19, корп. 4, м.Дніпро, 49600 Україна).

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5866-4393>

E-mail: cheberiachko.s.i@nmu.one

Дерюгін Олег Валентинович - доцент, кандидат технічних наук, доцент кафедри управління на транспорті, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» (пр. Дмитра Яворницького 19, корп. 4, м.Дніпро, 49600 Україна)

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2456-7664>

E-mail: deryugin_o@ukr.net

Лапко Кирило Андрійович - аспірант, кафедра охорони праці та цивільної безпеки, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» (пр. Дмитра Яворницького 19, корп. 4, м.Дніпро, 49600 Україна)

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0008-3984-686X>

E-mail: klapko@childcare.org.ua

Станіславчук Оксана Володимирівна – доцент, кандидат технічних наук, доцент кафедри промислової безпеки та охорони праці, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності (вул. Клепарівська, 35, Львів, 79000, Україна).

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5784-005X>

E-mail: stok_oven@ukr.net

COMPARATIVE ANALYSIS OF SAFETY CULTURE MODELS IN ORGANIZATIONS IN ACCORDANCE WITH THE REQUIREMENTS OF ISO 45001:2018

Purpose. The purpose of the study is to conduct a comparative analysis of the main models of safety culture to determine the possibilities of their practical application in order to assess the effectiveness of occupational health and safety management systems in accordance with the requirements of ISO 45001:2018.

Methods. To achieve this goal, the following methods were used: identification of key safety culture indicators that correspond to the structure of ISO 45001:2018; expert assessment of the compliance of models with the specified requirements; generalization of theoretical approaches and development of recommendations for improving existing models for assessing safety culture in enterprises.

Results. The study found that the Bradley curve model most comprehensively covers the indicators relevant to ISO 45001:2018. Other models have their own specific advantages (the Rison model emphasizes systemic barriers, the Hudson and Westrum models emphasize evolutionary maturity and information flow, the Shane model emphasizes deep cultural layers, the Cooper model emphasizes dynamic interaction between components, the Geller model emphasizes socio-psychological aspects of behavior, and the Bradley curve model places special emphasis on changing employee behavior and responsibility for safety), and need to be adapted to take into account the dynamics of change, cultural context, and internal relationships in occupational safety management systems. It has been found that each model has its limitations, including problems with conceptual clarity, measurement complexity, potential oversimplification, and insufficient consideration of dynamics and cultural context. The feasibility of integrating the approaches of different models, taking into account the psychological, behavioral, organizational, and situational factors of safety culture, has been substantiated.

Novelty. The scientific novelty of the work lies in the fact that, for the first time, the comparative compliance of different safety culture models with the requirements of ISO 45001:2018 has been scientifically substantiated, and the key aspects of their integration to improve the effectiveness of occupational health and safety management systems have been identified. Similar features of safety culture models have been identified, including elements such as values, beliefs, behavior, leadership, communication, and training.

Practical significance. The practical value of the results obtained lies in the possibility of their use by enterprises to improve the safety culture assessment system as an element of occupational safety management, taking into account the requirements of international standards and increasing the effectiveness of measures to promote safe behavior among employees.

Key words: safety culture, Rison model, Hudson model, Shane model, Cooper model, Geller model, Bradley curve model.

Vitaly Tsopa – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Management and Economics at the International Institute of Management (MIM-Kyiv), Professor of the Department of Occupational Safety and Civil Safety (10/12 V, Shulyavska Str., Kyiv, 04116, Ukraine)

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4811-3712>

E-mail: dr.tsopav@gmail.com

Serhii Cheberyachko – Doctor of Technical Sciences, Professor, National Technical University «Dnipro Polytechnic» (19, Dmytro Yavornytskyi Ave., Bldg. 4, Dnipro, 49600, Ukraine).

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5866-4393>

E-mail: cheberiachko.s.i@nmu.one

Oleh Deryugin – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Transport Management, National Technical University "Dnipro Polytechnic" (19, Dmytro Yavornytskyi Ave., Bldg. 4, Dnipro, 49600, Ukraine)

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2456-7664>

E-mail: deryugin_o@ukr.net

Kyrylo Lapko – Postgraduate Student, Department of Occupational Safety and Civil Safety, National Technical University "Dnipro Polytechnic" (19, Dmytro Yavornytskyi Ave., Bldg. 4, Dnipro, 49600, Ukraine)

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0008-3984-686X>

E-mail: klapko@childcare.org.ua

Oksana Stanislavchuk – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Industrial Safety and Occupational Safety, Lviv State University of Life Safety (35, Kleparivska Str., Lviv, 79000, Ukraine).

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5784-005X>

E-mail: stok_oven@ukr.net

CONTENTS

Oleksandr Borovytskyi PROACTIVE INCIDENT INVESTIGATION METHOD	6
Natalia Burdeina, Valentyn Glyva, Yana Biruk, Tetiana Petrunok, Oleksandr Hryhorchuk ANALYSIS AND NORMALIZATION OF PARAMETERS OF AIR IONIZATION, LOW-FREQUENCY SOUND AND ELECTROMAGNETIC FIELDS IN ROOMS WITH A LARGE NUMBER OF COMPUTERS AND EQUIPMENT.....	14
Vladyslav Dendarenko, Dmytro Kryshstal, Valentyn Melnyk, Oleksandr Nuianzin, Maksym Udovenko, Sergii Tsvirkun DESIGN AND CONCEPTUAL FRAMEWORK OF AN AUTOMATED SYSTEM FOR CALCULATING FIRE SUPPRESSION COSTS.....	28
Georgiy Yelagin, Dmytro Kryshstal, Alekseev Anatoly, Nataliia Havrylenko, Maria Kutsenko, STUDY OF THE EFFECTIVENESS OF FIRE-EXTINGUISHING ACTION OF MEANS FOR PREVENTING THE SPREAD OF FIRES IN PEATLANDS.....	41
Mykhailo Klymenko USE OF DATA COLLECTION TERMINALS AS A TOOL FOR TRAINING AND TESTING KNOWLEDGE OF OCCUPATIONAL SAFETY IN WAREHOUSE ENTERPRISES.....	53
Viktor Kostenko EXPERIMENTAL STUDIES OF AIR MOVEMENT PARAMETERS IN GOAF AREAS.....	61
Valentyna Loboychenko, Ihor Khmyrov, Maria Solonchuk CIVIL PROTECTION IN THE CONTEXT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT AND INDUSTRY 5.0: CHALLENGES FOR RENEWABLE ENERGY (THE CASE OF MICROGRIDS).....	70
Mykola Rudynets, Valentyna Fedorchuk-Moroz THE IMPACT OF INFORMATION TECHNOLOGIES ON THE MENTAL HEALTH OF THE POPULATION IN WAR CONDITIONS.....	83
Vasyl Tymochko, Ivan Horodetsky, Olena Visyn INDUSTRIAL HAZARDS DURING THE MAINTENANCE AND REPAIR OF ELECTRICAL EQUIPMENT.....	93
Andrii Khyzhniak, Sergey Firsov, Olha Chencheva, Serhii Dykan FORECASTING EMERGENCY SITUATIONS AND EVENTS DURING MARTIAL LAW.....	102
Vitaly Tsopa, Serhii Cheberyachko, Oleh Deryugin, Kyrylo Lapko, Oksana Stanislavchuk COMPARATIVE ANALYSIS OF SAFETY CULTURE MODELS IN ORGANIZATIONS IN ACCORDANCE WITH THE REQUIREMENTS OF ISO 45001:2018.....	110



Науково-технічний журнал

**«АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ ОХОРОНИ ПРАЦІ, ЦИВІЛЬНОЇ ТА
ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ»**

2 (2)' 2025

Редагування англomовних текстів:

О. Ковальчук

Відповідальний редактор:

В. Федорчук-Мороз

Комп'ютерна верстка: О. Вісин, М. Клименко

Підписано до друку з оригінал-макета 26.12.2025

Ум. друк. арк. 7,9

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"**

2 (2)' 2025

Editing English-Language Texts:
O. Kovalchuk

Responsible Editor:
V. Fedorchuk-Moroz

Computer Layout:
O. Visyn, M. Klymenko

Signed for printing from the original layout 26.12.2025
Print sheets: 7,9
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