

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
ІНІ «ПРИДНІПРОВСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ
БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ»**

УКРАЇНСЬКИЙ ЖУРНАЛ БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ

НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ

№ 5 (023)
вересень — жовтень 2024

Дніпро 2024

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

Головний редактор	Микола САВИЦЬКИЙ, д-р техн. наук, ПДАБА, Дніпро
Заступник головного редактора	Владислав ДАНИШЕВСЬКИЙ, д-р техн. наук, ПДАБА, Дніпро
Відповідальний секретар	Олена ТИМОШЕНКО, к-т техн. наук, ПДАБА, Дніпро
Випусковий редактор	Олена ТИМОШЕНКО, к-т техн. наук, ПДАБА, Дніпро

ЧЛЕНИ РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ:

А. С. Беліков, д-р техн. наук, ПДАБА, Дніпро. М. М. Біляєв, д-р техн. наук, Український державний університет науки і технологій, Дніпро. В. І. Большаков, д-р техн. наук, ПДАБА, Дніпро. В. Є. Волкова, д-р техн. наук, Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро. В. М. Волчук, д-р техн. наук, ПДАБА, Дніпро. С. І. Губенко, д-р техн. наук, ПДАБА, Дніпро. В. М. Дерев'янко, д-р техн. наук, ПДАБА, Дніпро. Ю. О. Кірічек, д-р техн. наук, ПДАБА, Дніпро. Т. С. Кравчуновська, д-р техн. наук, ПДАБА, Дніпро. Ю. І. Криворучко, д-р арх., Національний університет «Львівська політехніка», Львів. О. О. Лапшин, д-р техн. наук, Криворізький національний університет, Кривий Ріг. В. П. Мироненко, д-р арх., Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова, Харків. М. М. Налисько, д-р техн. наук, ПДАБА, Дніпро. Т. Д. Нікіфорова, д-р техн. наук, ПДАБА, Дніпро. В. І. Проскуряков, д-р арх., Національний університет «Львівська політехніка», Львів. В. Л. Седін, д-р техн. наук, ПДАБА, Дніпро. В. В. Товбич, д-р арх., Київський національний університет будівництва та архітектури, Київ. О. В. Харлан, к-т арх., ПДАБА, Дніпро. С. В. Шатов, д-р техн. наук, ПДАБА, Дніпро. Едіт Барна, к-т техн. наук, Будапештський технічно-економічний університет, Будапешт (Угорщина). Анна Бач, д-р арх., Вроцлавський університет, Вроцлав (Польща). Александрс Корякінс, д-р техн. наук, Ризький технічний університет, Рига (Латвія). В. І. Куксенко, к-т техн. наук, Управління з атомної енергетики Великобританії, Оксфорд (Великобританія). Богуслав Подхалянський, д-р арх., Краківський політехнічний інститут імені Тадеуша Костюшка, Краків (Польща).

Науково-практичний журнал входить до Переліку наукових фахових видань України (категорія «Б»), в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата технічних наук та архітектури за спеціальностями 132, 191, 192, 194, 263 згідно з наказом Міністерства освіти і науки України від 09.02.2021 № 157 (Додаток 3).

Свідоцтво про Державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації – серія KB № 24586-14526 ПР – видане Міністерством юстиції України 09 жовтня 2020 р.

Засновник та видавець Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» (код за ЄДРПОУ 02070772).

Виходить 6 разів на рік.

Рекомендовано до друку вченою радою «Українського університету науки та технологій» протокол № 3 від 30.10.2024.

Сайт видання <http://uajcea.pgasa.dp.ua>

Наукометричні бази та електронні бібліотеки, в яких зареєстрований науково-практичний журнал: Інформаційно-аналітичні системи: InfoBase Index (IBI Factor = 3,96), Universal Impact Factor, Open Academic Journal Index, Directory, Indexing of International Research Journals (CiteFactor). Електронні бібліотеки та пошукові системи: Bielefeld Academic Search Engine (BASE), OCLC WorldCat, Open Journal Systems, Національна бібліотека України імені В. І. Вернадського.

ISSN 2710-0367 (Print)
2710-0375 (Online)

Художній і технічний редактор Сергій МОЇСЕСЕНКО
Редактор та коректор Валентина МАЛОВИК

**MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
UKRAINIAN STATE UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGIES
ESI “PRYDNIPROVSKA STATE ACADEMY
OF CIVIL ENGINEERING AND ARCHITECTURE”**

UKRAINIAN JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING AND ARCHITECTURE

SCIENTIFIC-PRACTICAL JOURNAL

№ 5 (023)
September – October 2024

Dnipro 2024

EDITORIAL STAFF:

Chief Editor	Mykola SAVYTSKYI, Doctor of Engineering Science, PSACEA, Dnipro
Deputy Chief Editor	Vladyslav DANISHEVSKYI, Doctor of Engineering Science, PSACEA, Dnipro
Executive Secretary	Olena TYMOSHENKO, Candidate of Engineering Science, PSACEA, Dnipro
Executive Editor	Olena TYMOSHENKO, Candidate of Engineering Science, PSACEA, Dnipro

MEMBERS OF EDITORIAL STAFF:

A. S. Bielikov, Doctor of Engineering Science, *Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture (PSACEA), Dnipro*. M. M. Biliaiev, Doctor of Engineering Science, *Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro*. V. I. Bolshakov, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipro*. V. Yev. Volkova, Doctor of Engineering Science, *Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro*. V. M. Volchuk, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipro*. S. I. Gubenko, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipro*. V. M. Derevianko, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipro*. Yu. O. Kirichuk, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipro*. T. S. Kravchunovska, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipro*. Yu. I. Kryvoruchko, Doctor of Architecture, *National University "Lviv Polytechnic", Lviv*. O. O. Lapshyn, Doctor of Engineering Science, *Kyiv National University, Kyiv*. V. P. Myronenko, Doctor of Architecture, *O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv*. M. M. Nalysko, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipro*. T. D. Nikiforova, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipro*. V. I. Proskuriakov, Doctor of Architecture, *National University "Lviv Polytechnic", Lviv*. V. L. Siedin, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipro*. V. V. Tovbych, Doctor of Architecture, *Kyiv National University of Civil Engineering and Architecture, Kyiv*. O. V. Kharlan, Candidate of Architecture, *PSACEA, Dnipro*. S. V. Shatov, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipro*. Edit Barna, PhD, *Budapest University of Technology and Economics, Budapest, Hungary*. Anna Bać, Doctor of Architecture, *Wroclaw University of Science and Technology, Wroclaw, Poland*. Aleksandrs Korjakins, Doctor of Engineering Science, *Riga Technical University, Riga, Latvia*. V. I. Kuksenko, PhD, Candidate of Engineering Science, *UK Atomic Energy Authority, Oxford, UK*. Boguslaw Podhalyanski, Doctor of Architecture, *Cracow University of Technology, Cracow (Poland)*.

Scientific-Practical Journal is included in	List of scientific professional publications of Ukraine (category "B"), where the results of dissertations for the degree of Doctor and Candidate of Engineering Sciences and Architecture (by specialty 132, 191, 192, 194, 263) can be published according to the Resolution of the Ministry of Science and Education of Ukraine No. 157 dated 09.02.2021 (Appendix no. 3).
Certificate of State Registration	of the Print Media – Series KB No. 24586-14526 ПП – issued by the Ministry of Justice of Ukraine dated October 09, 2020.
Founder & Publisher	State Higher Education Institution "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture". Issued 6 times a year.
Recommended for publication by	Academic Board of the Ukrainian State University of Science and Technologies, no. 3 from 30.10.2024
Journal website	http://uajcea.pgasa.dp.ua
Placement of the scientific-practical journal in the international scientometric databases and e-libraries	Information and analytical systems: InfoBase Index (IBI Factor = 3.96), Universal Impact Factor, Open Academic Journal Index, Directory Indexing of International Research Journals (CiteFactor). <i>Electronic Libraries and search engines</i> : Bielefeld Academic Search Engine (BASE), OCLC WorldCat, Open Journal Systems, Vernadsky National Library of Ukraine.
ISSN	2710-0367 (Print) 2710-0375 (Online) <i>Art & Technical Editor</i> Serhii MOISEIENKO <i>Editor & Proofreader</i> Valentyna MALOVYK

У ЦЬОМУ НОМЕРІ

Бегічев С. В., Ішутіна Г. С., Чумак Л. О. ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ ГЕОДЕЗИЧНОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГЕОДЕЗИЧНОГО СУПРОВОДУ БУДІВНИЦТВА.....	7
Беліков А. С., Пилипенко О. В., Шаломов В. А., Гваджаїа Б. Д., Дубов Т. М. ПІДХОДИ ДО ПОДОВЖЕННЯ РЕСУРСУ БІОЛОГІЧНОГО ЗАХИСТУ ЯДЕРНИХ УСТАНОВОК АТОМНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ УКРАЇНИ.....	21
Беліков А. С., Рибалка К. А., Дзюбан О. В. ШЛЯХИ ВПЛИВУ ЕКОНОМІЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ОХОРОНИ ПРАЦІ З УРАХУВАННЯМ РИЗИК-ОРІЄНТОВАНОГО ПІДХОДУ.....	30
Беліков А. С., Подкопаєв С. В., Журбенко В. М., Нажа П. М., Рагімов С. Ю. ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕГРАЛЬНОГО РИЗИК-ОРІЄНТОВАНОГО ПІДХОДУ ДО ВПРОВАДЖЕННЯ КОМПЛЕКСНОЇ ОЦІНКИ ВІЗУАЛЬНОГО СЕРЕДОВИЩА.....	36
Беліков А. С., Стрежекуров Ю. Е. ВИКОРИСТАННЯ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЛОКАЛЬНОГО ТЕРМОРЕГУЛЮВАННЯ ТА ВЕНТИЛЯЦІЇ ПРАЦІВНИКІВ У РОБОЧИХ ЗОНАХ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНИХ ВИРОБНИЦТВ.....	44
Білополий В. В., Савош Г. П. ВПЛИВ СУЧАСНИХ ФОРМАТІВ ВЕДЕННЯ ОСВІТНЬОГО ПРОЦЕСУ (ДИСТАНЦІЙНИЙ, ЗМІШАНИЙ та ін.) НА ОСНОВНІ СПІЛЬНОТИ УНІВЕРСИТЕТУ, НА РЕАЛІЗАЦІЮ МІСІЇ, ЦІЛЕЙ ТА ЯКІСТЬ ВИЩОЇ ОСВІТИ.....	50
Гармаш С. М., Герасименко В. О., Смирнова О. В. РАДІАЦІЙНИЙ ЗАХИСТ ПІД ЧАС ВИКОРИСТАННЯ ДЖЕРЕЛ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ У МЕДИЦИНІ.....	59
Дерев'янка В. М., Гришко Г. М., Дубов Т. М. ФОРМУВАННЯ ГІДРАТНИХ СПОЛУК СИСТЕМИ $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ ЗА ГІДРАТАЦІЇ МІНЕРАЛІВ АЛЮМІНАТНИХ ЦЕМЕНТІВ.....	66
Дікарев К. Б., Папірник Р. Б., Коваль В. М., Коваль В. В. АКТУАЛЬНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У МОНОЛІТНОМУ БУДІВНИЦТВІ.....	77
Дікарев К. Б., Григорович М. С., Купенко-Скокова А. О., Стецюк Я. О. АКТУАЛЬНІСТЬ ДОСЛІДЖЕННЯ ІННОВАЦІЙНИХ РІШЕНЬ У ВИЯВЛЕННІ ДЕФЕКТІВ ПЛОСКИХ ПОКРІВЕЛЬ.....	85
Кічата Н. М., Третьяков О. В. ОЦІНКА РИЗИКІВ ВИНИКНЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ В ЕНЕРГЕТИЧНОМУ СЕКТОРІ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ.....	92
Мітіна Н. Б., Когтева О. П., Малиновська Н. В., Мініна Ю. О. АНАЛІЗ БЕЗПЕКОВОЇ СИТУАЦІЇ ТА СТАНУ ПІДЗЕМНОГО СЕРЕДОВИЩА УКРАЇНИ.....	101
Несевря П. І., Лагутчев Д. М. ВИПРОБУВАННЯ ТА НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ ЛОГІСТИЧНИХ ХАБІВ В УКРАЇНІ.....	109
Папірник Р. Б., Дікарев К. Б., Катаєв А. С., Коваль В. В. КАСКАДНІ КОТЕЛЬНІ ЯК СИСТЕМА ЖИТТЄЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД.....	115
Папірник Р. Б., Дікарев К. Б., Селецький В. В., Коваль В. В. УПРОВАДЖЕННЯ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВИКОНАННЯ БУДІВЕЛЬНО-МОНТАЖНИХ РОБІТ В ОСОБЛИВИХ УМОВАХ.....	124
Смирнова О. В., Гармаш С. М., Герасименко В. О. АДАПТАЦІЯ УЧАСНИКІВ ОСВІТНЬОГО ПРОЦЕСУ ДО ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ В ПЕРІОД ВОЄННОГО СТАНУ.....	133
Соколов І. А., Шонія І. Д. ОПТИМІЗАЦІЯ УПРАВЛІННЯ ЛОГІСТИКОЮ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ НА БУДІВЕЛЬНИХ МАЙДАНЧИКАХ: ДОСЛІДЖЕННЯ НАЙКРАЩИХ ПРАКТИК І СТРАТЕГІЙ.....	142
Харченко К. С., Гребінник Т. О., Капленко Д. Д. СИМВОЛІЗМ В АРХІТЕКТУРНОМУ СЕРЕДОВИЩІ.....	151
Шаломов В. А., Беліков А. С., Жирков В. Ю., Хряп П. Д., Шаломов О. В. ЕРГОНОМІЧНІСТЬ ЯК ФАКТОР ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС РОБОТИ БУДІВЕЛЬНИХ МАШИН НА ПРИКЛАДІ ЕКСКАВАТОРІВ.....	160

CONTENT

Biehichev S.V., Ishutina H.S., Chumac L.O. RESEARCH OF THE RELIABILITY OF THE GEODETIC NETWORK IN PROVIDING GEODETIC SUPPORT OF CONSTRUCTION.....	7
Bielikov A.S., Pylypenko O.V., Shalomov V.A., Hvazhaia B.D., Dubov T.M. APPROACHES TO EXTENDING THE LIFE OF BIOLOGICAL PROTECTION OF NUCLEAR FACILITIES AT UKRAINIAN NUCLEAR POWER PLANTS.....	21
Bielikov A.S., Rybalka K.A., Dzyuban O.V. WAYS TO INFLUENCE THE ECONOMIC REGULATION OF LABOR PROTECTION, TAKING INTO ACCOUNT THE RISK-ORIENTED APPROACH.....	30
Bielikov A.S., Podkopaev S.V., Zhurbenko V.M., Nazha P.M., Ragimov S.Yu. INTEGRAL RISK ORIENTED APPROACH IN THE IMPLEMENTATION OF A COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF VISUAL ENVIRONMENT.....	36
Bielikov A.S., Strezhekurov Yu.E. APPLICATION OF UNMANNED AERIAL VEHICLES FOR LOCALIZED THERMOREGULATION AND VENTILATION OF WORKERS AT JOBSITES OF HIGH-TEMPERATURE INDUSTRIES.....	44
Bilopolyi V.V., Savosh G.P. THE INFLUENCE OF MODERN FORMATS OF THE EDUCATIONAL PROCESS (DISTANCE, MIXED AND OTHERS) ON THE MAIN COMMUNITIES OF THE UNIVERSITY, ON THE IMPLEMENTATION OF THE MISSION, GOALS AND QUALITY OF HIGHER EDUCATION.....	50
Garmash S.M., Gerasimenko V.O., Smirnova O.V. RADIATION PROTECTION WHEN USING SOURCES OF IONIZING RADIATION IN MEDICINE.....	59
Derevianko V.M., Hryshko H.M., Dubov T.M. FORMING HYDRATE COMPOUNDS SYSTEM $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ DURING THE ALUMINATE CEMENT MINERALS HYDRATION.....	66
Dikarev K.B., Papirnyk R.B., Koval V.M., Koval V.V. RELEVANCE OF USING MODERN TECHNOLOGIES IN MONOLITHIC CONSTRUCTION.....	77
Dikarev K.B., Hryhorovych M.S., Kutsenko-Skokova A.O., Stetsiuk Ya.O. RELEVANCE OF RESEARCH ON INNOVATIVE SOLUTIONS FOR DETECTING DEFECTS IN FLAT ROOFS.....	85
Kichata N.M., Tretyakov O.V. ASSESSMENT OF THE RISKS OF EMERGENCY SITUATIONS IN THE ENERGY SECTOR OF CRITICAL INFRASTRUCTURE.....	92
Mitina N.B., Kohtieva O.P., Malinovskaya N.V., Minina Yu.O. ANALYSIS OF THE SECURITY SITUATION AND THE STATE OF THE UNDERGROUND ENVIRONMENT IN UKRAINE.....	101
Nesevrya P.I., Lahutchev D.M. CHALLENGES AND OPPORTUNITIES FOR THE DEVELOPMENT OF LOGISTICS HUBS IN UKRAINE.....	109
Papirnyk R.B., Dikarev K.B., Kataev A.S., Koval V.V. CASCADE BOILER PLANTS AS A LIFE SUPPORT SYSTEM FOR BUILDINGS AND STRUCTURES.....	115
Papirnyk R.B., Dikarev K.B., Seletskyi V.V., Koval V.V. IMPLEMENTATION OF INNOVATIVE TECHNOLOGIES FOR EXECUTION OF CONSTRUCTION AND ASSEMBLY WORK IN SPECIAL CONDITIONS.....	124
Smirnova O.V., Garmash S.M., Gerasimenko V.O. ADAPTATION OF EDUCATIONAL PROCESS PARTICIPANTS TO DISTANCE EDUCATION DURING THE PERIOD OF MARTIAL STATUS.....	133
Sokolov I.A., Shoniia I.D. OPTIMIZATION OF LOGISTICS MANAGEMENT TO INCREASE EFFICIENCY AT CONSTRUCTION SITES: RESEARCH OF BEST PRACTICES AND STRATEGIES.....	142
Kharchenko K.S., Grebinnyk T.O., Kaplenko D.D. SYMBOLISM IN THE ARCHITECTURAL ENVIRONMENT.....	151
Shalomov V.A., Bielikov A.S., Zhyrkov V.Yu., Khriap P.D., Shalomov O.V. ERGONOMICS AS A FACTOR IN ENSURING SAFETY DURING THE OPERATION OF CONSTRUCTION MACHINES ON THE EXAMPLE OF EXCAVATORS.....	160

УДК 528.38/.41-027.45:624

DOI: 10.30838/UJCEA.2312.301024.07.1087

ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ ГЕОДЕЗИЧНОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГЕОДЕЗИЧНОГО СУПРОВОДУ БУДІВНИЦТВА

БЕГІЧЕВ С. В.¹, канд. техн. наук, доц.,
ІШУТІНА Г. С.^{2*}, канд. техн. наук, доц.,
ЧУМАК Л. О.³, канд. техн. наук, доц.

¹ Кафедра автомобільних доріг, геодезії та землеустрою, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, e-mail: sergey_begichev@ua.fm, ORCID ID: 0000-0001-9861-8754

^{2*} Кафедра автомобільних доріг, геодезії та землеустрою, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, e-mail: ishutina.hanna@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-0665-3040

³ Кафедра фундаментальних і природничих дисциплін, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, e-mail: larisa4umak@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-3858-8028

Анотація. Безпечність та надійність будівель і споруд як складної технічної системи залежить не лише від правильного врахування даних про конструктивні особливості споруди, а й від особливості поведінки ґрунтової основи, що сприймає навантаження і працює спільно з інженерною спорудою, а також від геодезичного супроводу будівництва. Геодезичні роботи становлять невід’ємну частину технологічного процесу будівельного виробництва та належать до основних видів робіт. Забезпечення надійної і безпечної, довготривалої експлуатації будинків і споруд житлово-цивільного, промислового та сільськогосподарського призначення, що розташовані як у звичайних, так і в складних інженерно-геологічних, сейсмонебезпечних, гірничо-геологічних умовах, – актуальне наукове завдання в наш час. Будівлі, розташовані на підроблюваних територіях, на просадних ґрунтах, зсувонебезпечних схилах або в умовах щільної міської забудови, потребують визначення розвитку деформаційних процесів за результатами періодичного геомоніторингу як на стадії відбудови, так і на стадії їх експлуатації. **Мета роботи** – створити марківську дискретно-неперервну стохастичну модель функціонування локальної геодезичної мережі (ГМ) для забезпечення геодезичного супроводу будівництва та виконати чисельні розрахунки надійності та безпечності ГМ залежно від особливостей її відновлення. Проаналізувати нормативно-правові документи з надійності та безпечності будівельних об’єктів, та методи оцінювання надійності та безпечності технічних систем. Виконати чисельний розрахунок показників надійності, безпечності та ефективності: коефіцієнта готовності, граничних імовірнісних станів, середнього часу між відмовами, середньої тривалості безвідмовної роботи геодезичної мережі (ГМ). **Методика.** Аналіз нормативно-правових документів із надійності та безпечності будівельних об’єктів. Огляд методів оцінки надійності та безпечності технічних систем. Застосування методу простору станів, побудова графів станів і переходів відновлюваної геодезичної мережі. Побудова у програмному засобі Mathcad графіків функції готовності, ймовірності роботи до першої відмови та частоти потрапляння в аварійну ситуацію. **Наукова новизна.** Метод простору станів дозволяє вперше в геодезії змодельовати поведінку запроєктованої ГМ із метою з’ясування часу перебування у різних станах технічної системи залежно від інтенсивності відмов геодезичних пунктів та інтенсивності їх відновлення. На побудованому графі станів і переходів, на відміну від методу «дерева відмов», є можливість одночасно побачити всі можливі ситуації, що розділені масками аварійних ситуацій. **Практична значимість.** Завдяки використанню стабільних геодезичних пунктів, відібраних за результатами виконаної оцінки надійності, є можливість підвищити якість геодезичного супроводу будівництва. Обґрунтовано найбільш доцільну схему відновлення ГМ за результатами аналізу моделей функціонування запроєктованої ГМ та обчислених значень: коефіцієнта готовності, частоти відмов ГМ та ймовірності роботи до першої відмови. **Результати.** Побудовано графічну модель надійнісної поведінки ГМ, що включає 8 пунктів у вигляді графа станів і переходів. Складено та розв’язано систему лінійних диференціальних рівнянь Колмогорова–Чепмена. Отримано розподіл ймовірностей перебування в кожному стані ГМ. Обґрунтовано доцільну періодичність відновлення ГМ залежно від інтенсивності відмов. Доведено, що періодичне відновлення геодезичних пунктів дозволяє підтримувати заданий рівень надійності ГМ, що підвищує точність геодезичного супроводу будівництва та забезпечує функціональну безпечність.

Ключові слова: надійність геодезичної мережі; марківська дискретно-неперервна стохастична модель; метод простору станів; граф станів і переходів; будівлі і споруди; функціональна безпечність; геодезичний моніторинг

RESEARCH OF THE RELIABILITY OF THE GEODETIC NETWORK IN PROVIDING GEODETIC SUPPORT OF CONSTRUCTION

BIEHICHEV S.V.¹, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*,
ISHUTINA H.S.^{2*}, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*
CHUMAC L.O.³, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*

¹ Department of Highways, Geodesy and Land Management, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Architect Oleh Petrov Str., Dnipro, 49005, Ukraine, e-mail: sergey_begichev@ua.fm, ORCID ID: 0000-0001-9861-8754

^{2*} Department of Highways, Geodesy and Land Management, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Architect Oleh Petrov Str., Dnipro, 49005, Ukraine, e-mail: ishutina.hanna@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-0665-3040

³ Department of Fundamental and Natural Sciences, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Architect Oleh Petrov Str., Dnipro, 49005, Ukraine, e-mail: larisa4umak@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-3858-8028

Abstract. The safety and reliability of buildings and structures as a complex technical system depends not only on the correct consideration of data on the structural features of the building, but also on the behavior of the soil base and on the geodetic support of the construction. Geodetic works are an integral part of the technological process of construction production and belong to the main types of work. Ensuring reliable and safe, long-term operation of buildings and structures of residential, civil, industrial and agricultural purpose, located both in ordinary and in difficult engineering-geological, earthquake-hazardous, mining-geological conditions is an urgent scientific task in our time. Buildings located on artificial territories, on subsiding soils, landslide-prone slopes or in conditions of dense urban development need to determine the development of deformation processes based on the results of periodic geomonitoring at the stage of their operation. **The purpose of the work** is to create a Markov discrete-continuous stochastic model of the operation of the local geodetic network (GN) to provide geodetic support for construction and perform numerical calculations of the reliability and safety of the GN depending on the features of its restoration. Analyze regulatory and legal documents on the reliability and safety of construction objects. Perform an analysis of methods for assessing the reliability and safety of technical systems. Perform a numerical calculation of reliability, safety and efficiency indicators: availability ratio, limit probability states, mean time between failures, average duration of fault-free operation of the geodetic network (GN). **Methodology.** Analysis of regulatory documents on the reliability and safety of construction objects. Review of methods for assessing the reliability and safety of technical systems. Application of the state space method, construction of graphs of states and transitions of a renewable geodesic network. Construction of graphs of the readiness function, the probability of operation before the first failure and the frequency of getting into an emergency situation in the Mathcad software tool. **Scientific novelty.** The state space method allows simulating the behavior of the designed GN in order to identify the time spent in various states of the technical system depending on the intensity of failures of geodetic points and the intensity of their recovery. On the graph of states and transitions, in contrast to the "fault tree" method, it is possible to simultaneously see all possible situations separated by masks of emergency situations. **Practical value.** Due to the use of stable geodetic points selected based on the results of the performed reliability assessment, there is an opportunity to improve the quality of geodetic construction support. The most expedient scheme of GN restoration has been substantiated. The results of the analysis of the functioning models of the designed GN were used and the calculated values of: availability coefficient, frequency of GN failures and the probability of operation before the first failure. **Results.** A graphic model of the reliability behavior of GM in the form of a graph of states and transitions has been built. Geodetic network includes 8 points. A system of Kolmogorov-Chapman linear differential equations was compiled and solved. The distribution of probabilities of being in each state of GN has been obtained. The reasonable periodicity of GN restoration depending on the intensity of failures has been substantiated. It has been proven that periodic restoration of geodetic points allows maintaining a given level of GM reliability. This increases the accuracy of geodetic monitoring of construction and ensures functional safety.

Keywords: *reliability of the geodetic network; Markov discrete-continuous stochastic model; state space method; graph of states and transitions; buildings and structures; functional safety; geodetic monitoring*

Постановка проблеми. Інженерно-геодезичні роботи в будівництві становлять комплекс геодезичних вимірювань для вишукувань, проєктувань, зведення й експлуатації інженерних споруд. Ще на

стадії інженерно-геодезичних вишукувань створюється планово-висотна основа і виконується топографічне знімання для проєктування будівельного майданчика та інженерної споруди. Під час будівництва та

експлуатації будівель і споруд здійснюють спостереження за деформаціями основ і фундаментів із метою обґрунтування теоретичних розрахунків стійкості споруд і вжиття заходів для захисту споруд у разі виявлення недопустимих деформацій. Виникнення різного виду деформацій спричиняють природні умови (зміна температури, рівня ґрунтових вод, сейсмічні явища, дії вітру, геологічні умови), недосконалість конструкцій, механічні навантаження та техногенний фактор (наземне та підземне будівництво).

Вплив наведених чинників викликає відносну зміну форми, геометричних параметрів і просторового положення будівель і споруд. При цьому можуть виникнути такі види деформацій: осідання, просідання, перекося, горизонтальні зміщення, деформації кручення та згину, крени, зсуви, прогинання з появою тріщин і розламів у споруді тощо.

За результатами геодезичних спостережень перевіряють правильність проєктних розрахунків, виявляють закономірності і роблять прогноз розвитку деформацій будівель і споруд.

Для отримання достовірних даних геомоніторингу потрібно мати стабільні (надійні) вихідні геодезичні пункти.

Геодезична мережа (ГМ) – це сукупність пунктів, які рівномірно розташовані на певній території та закріплені спеціальними центрами, що забезпечують їх збереження та стійкість у просторовому положенні протягом тривалого часу. Державна геодезична мережа – це носій координат і висот України.

ГМ служить основою для виконання геодезичних, топографічних, геолого-розвідувальних та маркшейдерських робіт. Внаслідок негативного впливу як техногенних, так і природних чинників спостерігається зміщення, а іноді й знищення пунктів геодезичних мереж. Порушені пункти виявляють за результатами польового обстеження під час виконання геодезичних робіт у конкретному районі. При цьому візуальне обстеження не дає уявлення про надійність пункту та вплив

його на стан геодезичної мережі в цілому. Шляхом застосування методів оцінки надійності можна обрати стабільні (надійні) геодезичні пункти, що будуть використані як вихідні для прокладання локальної геомоніторингової мережі.

Виділення невирішеної проблеми.

Проектуючи будівлі та споруди необхідно забезпечити їх заданий рівень надійності та безпечності. Як надійність, так і безпечність – це дві характеристики будь-якої технічної системи. *Надійність* – властивість системи виконувати всі свої функції із заданими показниками в означених межах протягом заданого часу в певних умовах її експлуатації. *Безпечність* – це властивість системи у разі виходу із ладу окремих підсистем чи модулів переходити в такий режим роботи, в якому вона не буде становити загрози життю людей і навколишньому середовищу чи іншим системам.

Безпечність – дуже широке поняття і воно використовується як у техніці, так і в екології, охороні здоров'я тощо. Геодезичні мережі, будівлі і споруди також являють собою технічні системи що включають елементи – геодезичні пункти, будівельні конструкції.

Для будівель і споруд протягом усього часу їх експлуатації важливі і надійність, і функціональна безпечність, проте є певне протиріччя між цими поняттями. У разі виходу окремих систем із ладу ми повинні знати момент часу, коли відбулась відмова, отже у нас повинна бути якась система моніторингу, засоби контролю стану технічної системи. Тобто до технічної системи (будівель та споруд) ми повинні ще додати додаткове обладнання для засобів контролю і діагностики з метою виявлення проблем з підсистемами.

Внаслідок того, що ми додаємо додаткову систему (моніторингову мережу), яка повинна працювати разом з основною та фундаментом будівлі, з погляду надійності, це послідовне з'єднання. Тобто є основна система і послідовно до неї приєднуються засоби контролю і діагностики (деформаційні марки); це система

забезпечення безпечності (локальна геомоніторингова мережа). Локальна геомоніторингова мережа є додатковою системою забезпечення безпечності.

Уведення засобів безпечності завжди зменшує надійність системи. Це означає, що надійність основної системи зменшується. Відповідно, для того, щоб дійти до початкового бажаного рівня надійності, який був без цієї системи, ми повинні підвищувати надійність цілої системи, що робить її дорожчою. Проте такі заходи щодо підвищення надійності та забезпечення функціональної безпечності дають змогу зберегти життя і здоров'я людей у процесі експлуатації будівель та споруд.

Якщо під час геомоніторингу буде виявлений недопустимий розвиток деформаційних процесів будівлі й подальша її експлуатація може бути небезпечною, то своєчасне вживання спеціальних заходів з укріплення фундаменту або будівельних конструкцій дозволить зберегти функціональну безпечність у заданих межах, не очікуючи виникнення аварійної ситуації. Для того, щоб підвищити і безпечність, і надійність, потрібно докладно проаналізувати систему на наявність слабких місць і вчасно їх усунути.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для технічних систем важливі як надійність, так і функціональна безпечність, яка регламентується двома групами стандартів:

1) Міжнародний стандарт ІЕС 61508. Цей стандарт був розроблений міжнародною організацією зі стандартизації (International Electrotechnical Commission), яка готує та публікує міжнародні стандарти для всіх електричних, електронних і суміжних технологій, що мають загальну назву «електротехнології». У серії стандартів ІЕС 61508 надано визначення функціональної безпеки, наведені у відповідних підрозділах основні норми функціональної безпеки електричних, електронних та програмованих електронних пристроїв та систем.

Особливість стандартів цієї серії – ризик-орієнтований підхід до оцінювання

безпеки. Встановлено різні види ризику залежно від можливої завданої шкоди життю або здоров'ю людини, зовнішньому середовищу внаслідок впливу техногенних об'єктів. Для зменшення рівня ризику передбачено комплекс заходів, які і регламентує серія стандартів ІЕС 61508. Серія цих стандартів прийнята як державні стандарти у багатьох країнах світу. З вересня 2019 року серія стандартів ІЕС 61508 впроваджена в Україні на рівні ДСТУ (наказ ДП «УкрНДНЦ» від 13.08.2019 № 249).

2) ISO 26262 – міжнародний стандарт із функціональної безпеки дорожніх транспортних засобів. Стандарт підготовлений до випуску Технічним комітетом ISO/TC 22/SC 32 «Електричні, електронні компоненти та види систем загального призначення» Міжнародної організації зі стандартизації. У цьому стандарті визначено різні види безпечності, рівень вбудованої безпечності (safe integral level) для різних систем.

З метою забезпечення надійності й безпеки висотних будинків, об'єктів АЕС та інших відповідальних і технічно складних будівельних об'єктів запроваджують заходи від прогресуючих руйнувань. Під час зведення висотних і унікальних споруд, монтажу складного технологічного устаткування створюється спеціальна геодезична служба, головне завдання якої – науковий супровід та забезпечення передбачених проектом виконання будівельних робіт (ПВБР), геометричних параметрів інженерних споруд і встановлення елементів конструкцій у проектне положення із заданою точністю. На основі геомоніторингу визначають динаміку розвитку деформаційних процесів у період будівництва й експлуатації будівлі.

Надійності та безпечності будівельних об'єктів присвячена низка нормативно-правових документів [1–8]. ДБН В.1.2-2:2006 [1] поширюється на проєктування будівельних конструкцій та основ будівель і споруд, що зводяться або реконструюються, і встановлює основні положення та правила щодо визначення навантажень (від

устаткування, людей, тварин, складових матеріалів і виробів; снігові та вітрові навантаження) і впливів, а також їх поєднань. ДБН В.1.2-5:2007 [2] встановлює порядок та умови виконання науково-технічного супроводу будівельних об'єктів незалежно від форм їх власності, відомчої належності та призначення. Ці Норми поширюються на будівельні об'єкти на різних етапах їх життєвого циклу.

ДБН В.1.2-12:2008 [3] встановлює вимоги безпеки під час нового будівництва, реконструкції і технічного переоснащення об'єктів в умовах ущільненої забудови і охоплює безпеку прилеглої забудови і території, безпеку об'єкта, що будується, безпеку виробничого процесу з виконання будівельно-монтажних робіт.

ДБН В.1.2-14:2018 [4] поширюється на вишукування, будівництво та ліквідацію будівель і споруд незалежно від їх призначення. Ці норми встановлюють загальні принципи забезпечення надійності і конструктивної безпеки будівель і споруд.

ДБН В.1.3-2:2010 [5] містить відомості та вимоги щодо створення внутрішньої та зовнішньої розмічувальної мережі для будівництва; виконання геодезичного контролю точності геометричних параметрів будівель (споруд) та виконавчого знімання; геодезичний моніторинг будівель та споруд; наведено схеми закріплення деформаційних марок та періодичність спостережень за видом деформацій.

У ДСТУ Б В.2.1-30:2014 [6] встановлено методи вимірювання деформацій (вертикальних і горизонтальних переміщень, кренів) основ фундаментів будинків і споруд з урахуванням ґрунтових умов на стадії будівництва або експлуатації; наведено методи визначення зсувів земельних ділянок або ґрунтового масиву.

Отже, нормативні документи [5; 6] встановлюють методи геодезичних спостережень за вертикальними та горизонтальними переміщеннями основи фундаментів; точність геодезичних вимірювань; вимоги до побудови геодезичних розмічувальних мереж; періодичність геомоніторингу; проектування,

виконання та приймання геодезичних робіт, які потрібно виконувати під час будівництва, реконструкції, технічного переоснащення об'єктів будівництва будь-якого призначення.

У ДСТУ Б В.1.2-3:2006 [7] наведено граничні значення прогинів і переміщень несучих і огорожувальних конструкцій будівель та споруд для розрахунку за другою групою граничних станів незалежно від застосовуваних будівельних матеріалів. Цей стандарт рекомендує враховувати всі основні фактори під час визначення прогинів і переміщень будівель та споруд. Якщо прогини й переміщення стали наслідком тривалих процесів (повзучості, просадки основ тощо), потрібно враховувати збільшення у часі їх значень.

ДСТУ-Н Б В.1.3-1:2009 [8] встановлює загальні положення, методичні принципи та порядок розрахунку точності, правила вимірювання геометричних параметрів у будівництві.

Питанням проектування будівель і споруд з урахуванням функціональної безпечності, теорії ймовірності та теорії надійності присвячені роботи Є. А. Бакуліна [9], А. Я. Барашикова [10], Я. Й. Червинського [11], В. М. Першакова [12] та ін.

У процесі проектування будівлі чи споруди передбачають заданий рівень надійності та функціональної безпечності її конструкцій і вузлів. Проаналізувавши досвід будівництва й експлуатації дослідники прийшли до висновку, що будівлі й споруди, які були побудовані й експлуатувались в однакових умовах, втрачають функціональну безпечність і надійність внаслідок виходу з ладу конструктивних елементів у різні випадкові моменти часу. Термін служби будівлі або її будівельної конструкції точно встановити неможливо. Проте є можливість оцінити ймовірність безпечної роботи певної споруди.

Публікація [9] присвячена розробленню нової практичної інженерної методики оцінки надійності технічного стану будівель промислового призначення з підвищеним рівнем відповідальності, що

експлуатуються. Враховано фактори ризику, що негативно впливають на термін експлуатації будівель і становлять загрозу руйнування.

У навчальному посібнику [10] викладено відомості про діагностику, обстеження та оцінювання технічного стану будівель і споруд для прийняття рішення щодо подальшої долі обстежуваного об'єкта.

Автори публікації [11] дійшли висновку, що «лише порівняння даних точних геодезичних спостережень за деформаціями основ, складених замочками лесоподібними ґрунтами, фундаментів будівель і споруд із результатами їх аналітичних розрахунків і моделювання методом скінченних елементів можуть служити критерієм достовірності двох підходів призначення величин модуля деформації таких ґрунтів».

При цьому ймовірність прогнозування деформацій земної поверхні під час підземної розробки вугільних родовищ невисока, тому потрібно впровадити більш достовірні методики розрахунку деформацій земної поверхні, що засновані на гіпотезах геомеханіки.

Отже, достовірність даних обстежень технічного стану будівель і споруд безпосередньо залежить від надійності даних геомоніторингу, що, у свою чергу, залежать від сталості та надійності вихідних пунктів геодезичних мереж. На основі виконаної оцінки надійності геодезичних мереж можна обрати стабільні, надійні пункти як вихідні, що дозволить отримати достовірні дані розвитку деформаційних процесів будівель та споруд.

У публікації [12] виконано аналіз технічного стану чотирьох поверхової житлової будівлі, проаналізовано причини її руйнування та надано рекомендації щодо її відновлення. Серед основних причин руйнування будівлі виділено наявність нерівномірних осідань основи по торцях будівлі внаслідок замочування просідних ґрунтів. Саме за результатами геомоніторингу можна своєчасно виявити розвиток деформаційних процесів та

підсилити за необхідності основу та фундамент будівлі.

Мета роботи – аналіз нормативних документів щодо надійності та функціональної безпечності технічних систем (будівель та геодезичних мереж). Застосування методу простору станів та побудова надійнісної моделі геодезичної мережі у вигляді графа станів і переходів. За допомогою побудованої моделі у ПК MathCad визначити функцію готовності, коефіцієнт готовності, ймовірність роботи до першої відмови, середній час роботи до першої відмови, частоту потрапляння в аварійну ситуацію. Аналіз можливості настання аварійної ситуації залежно від своєчасності технічного обслуговування (відновлення геодезичних пунктів) та заданого рівня надійності. Аналіз взаємозв'язку між показниками надійності і між показниками безпечності.

Виклад основного матеріалу і отриманих наукових результатів. Існують чотири кількісні показники безпечності, які дозволяють оцінити рівень функціональної безпечності:

1. MCS (Minimal Cut Sets) – мінімальні перерізи;
2. $Q(t)$ – ймовірність появи аварійної ситуації;
3. RPN (Risk Priority Number) – коефіцієнт ризику;
4. $W(t)$ – частота відмов.

Мінімальні перерізи – це комбінації мінімальної кількості відмов елементів системи, що спричиняють аварійну ситуацію. Вилучення хоча б одного несправного елемента системи з комбінації мінімальної кількості відмов елементів системи унеможливило виникнення аварійної ситуації. Мінімальні перерізи дають змогу кількісно визначати найбільш критичні елементи системи з погляду ризику її експлуатації («слабкі місця» будівлі з максимальними значеннями деформацій). Сума мінімальних перерізів дає ймовірність виникнення аварійної ситуації.

Будь-яка технічна система (будівля, геодезична мережа) на початку досліджень

перебуває у працездатному безпечному стані. У процесі функціонування система у разі виходу з ладу її елементів може перейти через деякий час у непрацездатний стан. Розрізняють декілька підвидів непрацездатного стану: безпечний, критичний та катастрофічний.

Отже, постає завдання виявити момент часу, коли система може втратити функціональну безпечність і перейти до аварійного стану, загрожуючи здоров'ю та життю людей під час її експлуатації.

За результатами систематичного геомоніторингу за станом будівель та споруд можна виявити розвиток небезпечних деформацій та вжити відповідних заходів із посилення фундаментів будівлі. При цьому є сенс удосконалювати не просто геомоніторинг (як засіб для збору технічних даних спостережень і вимірів у процесі будівництва та здачі в експлуатацію будівлі), а науково-технічний супровід будівництва шляхом проведення досліджень з оцінки надійності вихідних опорних геодезичних пунктів.

Це передбачає обробку й активне використання отриманої за час геомоніторингу достовірної інформації з використанням методів оцінки надійності та безпечності для своєчасного прийняття оперативних рішень, які сприяють безпечному та якісному веденню будівельних робіт та експлуатації будівель та споруд.

Є ціла низка програмних засобів що дозволяють знаходити мінімальні перерізи:

- RAM Commander (ALD, <https://aldservice.com>) – один з найпотужніших;
- Fault Tree Analysis Software (ALD, <http://www.fault-tree-analysis-software.com/>) – онлайн інструмент;
- BlockSim (ReliaSoft, <http://www.reliasoft.com/>);
- TopEvent FTA (Reliotech, <http://www.fault-tree-analysis.com/>) – безкоштовний програмний засіб;
- Fault Tree Analysis Software (Itemsoftware, <http://www.itemsoft.com/>).

У публікації [13] шляхом побудови дерева відмов та застосування програмного засобу TopEvent FTA знайдено мінімальні перерізи та визначено слабкі місця в геодезичній мережі.

Потужним інструментом, що дозволяє отримати мінімальні перерізи не з дерев відмов, а з графів станів переходів, постає *функція аварійності (ФА)*.

Функція аварійності – це залежність ймовірності виникнення в технічній системі сукупності непрацездатних станів, які спричиняють аварійну ситуацію внаслідок тривалої експлуатації. Тобто ФА, на відміну від дерева відмов, дозволяє врахувати показники безпечності і надійності. Дерево відмов не дозволяє показати вплив надійності на безпечність і при виявленні слабких місць потрібно заново перебудовувати дерево. Для великих систем це дерево має 10^5 – 10^6 подій нижнього рівня, це буде трудомістким процесом, що вимагає багато часу. Тому більш перспективним бачиться *метод простору станів*.

У цьому методі можна побудувати працездатні стани і непрацездатні стани (безпечні, критичні та катастрофічні). Коли щось вийде з ладу, це не спричинить аварійну ситуацію, а буде лише «непрацездатним безпечним станом». Критичним (передаварійним) буде стан, за якого в разі виходу з ладу ще одного елемента технічна система перейде в катастрофічний стан (станеться аварійна ситуація).

Завдання досліджень – виявлення моментів часу можливості переходу системи у «непрацездатний критичний» і «непрацездатний катастрофічний» стани та своєчасне реагування шляхом вживання заходів щодо підтримання надійного безпечного працездатного стану системи.

Отже, комбінуючи розглянуті стани, можна отримати показник «функція аварійності», що має такі властивості:

- 1) Кількість функцій аварійності $Q_{Ai}(t)$ визначається кількістю мінімальних перерізів, що спричиняють аварійну ситуацію.

2) Значення ФА для конкретної тривалості експлуатації системи дорівнює значенню ймовірності існування мінімального перерізу, яке отримане за допомогою дерева відмов для такої самої тривалості експлуатації.

3) Значення об'єднання усіх функцій аварійності $Q_{Ai}(t)$ дорівнює ймовірності появи аварійної ситуації $Q_{AC}(t)$ на цьому інтервалі:

$$Q_{AC}(t) = 1 - \prod_{i=1}^k (1 - Q_{Ai}(t)), \quad (1)$$

де $Q_{Ai}(t)$ – i -та функція аварійності; k – кількість функцій аварійності.

ФА може набрати значення від 0 до 1.

$$Q_{A(t)} = \begin{cases} 0, & t = 0 \\ f(t), & 0 \leq t \leq \infty. \\ 1, & t = \infty \end{cases} \quad (2)$$

Можна сказати, що аварійна функція є аналогом «мінімальних перерізів», проте якщо мінімальні перерізи є точками оцінки, тобто мають певне значення при певному часі, то ФА це є залежність від часу. Отже, за допомогою ФА ми бачимо, як змінюються у часі ці мінімальні перерізи. Для того, щоб її визначити, знаходять маску аварійності – логічну функцію, яка дозволяє виділити фактично траєкторії, що спричиняють аварійну ситуацію. Аварійних ситуацій може бути від 2 до 10. На одному дереві відмов ми побачимо лише одну аварійну ситуацію, отже, за наявності 10 аварійних ситуацій потрібно будувати 10 дерев відмов. У побудованому графі станів і переходів ми одночасно бачимо всі можливі ситуації, що розділені масками аварійних ситуацій.

Коефіцієнт ризику визначається мініаналізом, який дає змогу оцінити і якісні, і кількісні ризики експлуатації системи. *Частота відмов* – це швидкість потрапляння в аварійну ситуацію. Хоча ймовірність виникнення аварійної ситуації може бути велика, але якщо частота відмов низька, йде компенсування одного іншим. Функція частоти відмов є сумою добутків інтенсивностей переходів у непрацездатний стан на ймовірності перебування у

працездатних станах, з яких система переходить у непрацездатний.

Основний показник, який дозволяє якісно і кількісно оцінити безпечність – мінімальні перерізи (які можна встановити з дерева відмов при визначенні безпечності).

До методів оцінювання надійності можна віднести: структурні схеми надійності; логіко-ймовірнісні методи; метод простору станів та вдосконалений метод простору стану. До методів аналізу безпечності можна віднести: дерево відмов; динамічні дерева відмов; дерева подій та бінарні діаграми рішень. Логіко-ймовірнісний метод (дерево відмов) застосовується і для аналізу надійності, і для аналізу безпечності. Проте аварійна ситуація в динамічних деревах відмов (для аналізу безпечності) буде відрізнятися схематично від звичайних дерев відмов для оцінки надійності технічної системи. Це дає можливість усунути наявні недоліки, що є у деревах відмов, побудованих для оцінювання надійності.

Бажаним є заданий рівень надійності ГМ (ймовірність безвідмовної роботи не менше 90 %) $P(t) \geq 0,9$. ГМ, що включає п'ять геодезичних пунктів, вийде з ладу (втратить надійність), якщо знищити (або змінити своє просторове положення) хоча б один із пунктів. Для забезпечення надійності ГМ, що включає 10 геодезичних пунктів, допускається втрата стабільного положення лише одного пункту. Якщо припустити, що для працездатного стану ГМ достатньо мати не менше половини стабільних геодезичних пунктів (50 % мережі замість 90 %), тоді ГМ, яка містить вісім пунктів за умови наявності не менше чотирьох надійних, стабільних пунктів, буде працездатною. Проте якщо вийде з ладу будь-який п'ятий пункт, тоді ГМ перейде в непрацездатний безпечний стан.

Застосуємо метод простору станів і побудуємо у вигляді графа станів і переходів надійнісну модель ГМ, що містить вісім геодезичних пунктів і може відновлюватися шляхом ремонту (у разі знищення геодезичних пунктів

встановлюють інші). Згенеруємо стани, в яких може перебувати ГМ (рис. 1).

Працездатні стани: S_1 – S_5 (не менше 50 % стабільних геодезичних пунктів). Стан S_1 має вектор стану (8,0), де 8 – кількість надійних, стабільних (працездатних) геодезичних пунктів; 0 – кількість

геодезичних пунктів що вийшли з ладу. Стан S_2 має вектор (7,1), стан S_3 (6,2) тощо.

Критеріїв, за якими можна визначити підвид непрацездатного стану ГМ, наразі не існує. В даному дослідженні приймемо: S_6 – безпечний; S_7 – критичний стан; S_8 і S_9 – катастрофічний (потребує повного відновлення ГМ).

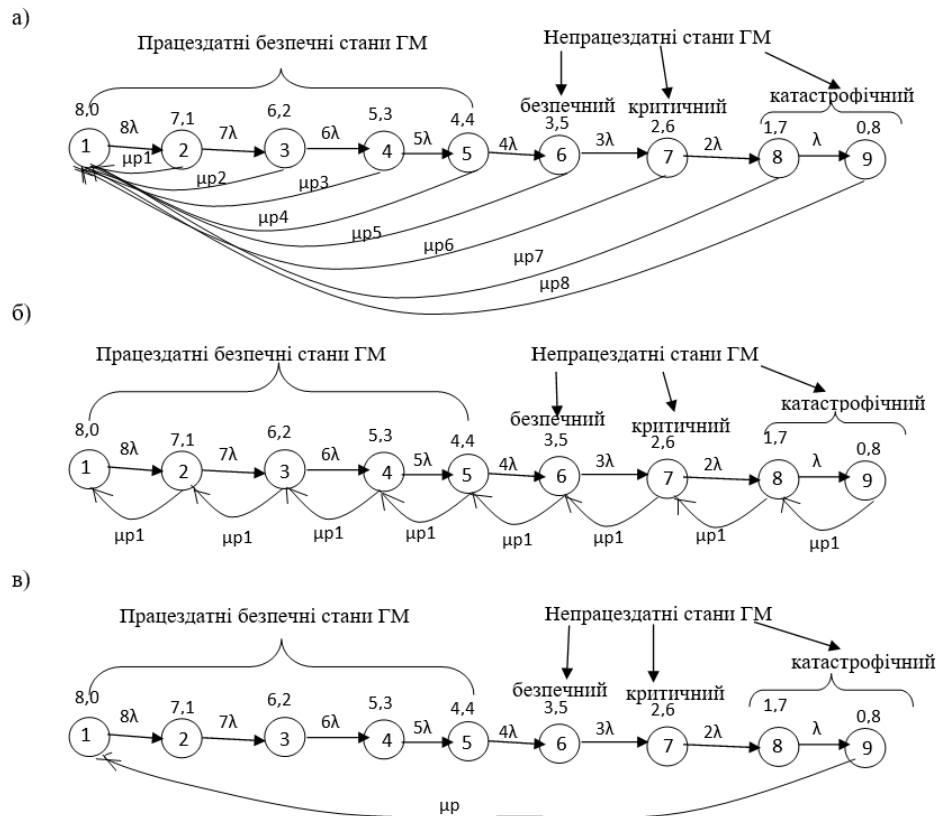


Рис. 1. Граф станів та переходів ГМ, що включає 8 геодезичних пунктів: а – з поточним відновленням до стану S_1 ; б – з поточним відновленням до попереднього стану S_{i-1} ; в – змішана схема поточного відновлення

При переході з першого стану в другий може вийти з ладу будь-який з восьми геодезичних пунктів (рис. 2).

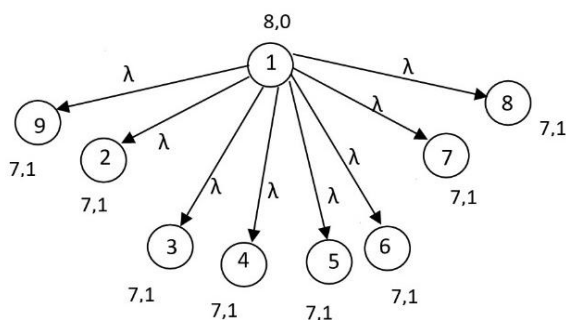


Рис. 2. Перехід ГМ зі стану S_1 у стан S_2

Інтенсивність переходу з першого стану (S_1) в другий (S_2) буде 8λ ; зі стану S_2 в стан

S_3 – 7λ тощо (рис. 1). Розглянемо та порівняємо декілька варіантів схем відновлення геодезичної мережі та оберемо найбільш доцільний для забезпечення заданого рівня надійності ГМ. Під час поточного відновлення потрібно відновити стан ГМ до стану S_1 (рис. 1, а), отже, інтенсивність відновлення буде залежати від кількості пунктів, що потрібно відновити і є обернено пропорційною величиною до часу відновлення. Якщо під час обстеження ГМ ми опинились у стані 9, то відповідно інтенсивність відновлення буде $\mu_{р8}$. Отже, для переходу в стан 1 знадобиться у 8 раз більше часу на відновлення восьми пунктів,

ніж на відновлення одного пункту (рис. 1, а).

Інтенсивність відновлення – це величина, обернено пропорційна часу відновлення:

$$\mu_p = \frac{1}{T_p} \quad (3)$$

$$\text{Отже, } \mu_{p2} = \frac{1}{2T_p}; \mu_{p3} = \frac{1}{3T_p}; \mu_{p4} = \frac{1}{4T_p}; \mu_{p5} = \frac{1}{5T_p}; \mu_{p6} = \frac{1}{6T_p}; \mu_{p7} = \frac{1}{7T_p}; \mu_{p8} = \frac{1}{8T_p}.$$

Для схеми, зображеної на рисунку 1, б, характерне відновлення лише одного геодезичного пункту, в результаті чого технічна система повертається у попередній стан (S_{i-1}). Для спрощення розрахунків будемо враховувати скорочений граф, об'єднавши всі непрацездатні стани (S_6 – S_9) в один (S_6). Нас цікавить момент переходу системи з працездатного стану S_5 в непрацездатний S_6 .

Складемо систему лінійних диференціальних рівнянь Колмогорова-Чепмена для графу, зображеного на рис. 1, а.

$$\frac{dP1(t)}{dt} = -8\lambda \cdot P1(t) + \mu_{p5} \cdot P6(t) + \mu_{p4} \cdot P5(t) + \mu_{p3} \cdot P4(t) + \mu_{p2} \cdot P3(t) + \mu_{p1} \cdot P2(t);$$

$$\frac{dP2(t)}{dt} = -7\lambda \cdot P2(t) - \mu_{p1} \cdot P2(t) + 8\lambda \cdot P1(t);$$

$$A = \begin{pmatrix} -8\lambda & \mu_{p1} & \mu_{p2} & \mu_{p3} & \mu_{p4} & \mu_{p5} \\ 8\lambda & -7\lambda - \mu_{p1} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 7\lambda & -6\lambda - \mu_{p2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 6\lambda & -5\lambda - \mu_{p3} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 5\lambda & -4\lambda - \mu_{p4} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 4\lambda & -\mu_{p5} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -0.12 & 0.1 & 0.05 & 0.033 & 0.025 & 0.02 \\ 0.12 & -0.205 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.105 & -0.14 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.09 & -0.108 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.075 & -0.085 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.06 & -0.02 \end{pmatrix}$$

Розрахуємо в програмному засобі Mathcad:

– середній час перебування ГМ в станах нормального функціонування (S_1 – S_5) до першої відмови:

$$T = \begin{pmatrix} 51.789 \\ 30.316 \\ 22.737 \\ 18.889 \\ 16.667 \end{pmatrix} \text{ днів}$$

– середній час роботи ГМ до першої відмови MTTF (Mean time to failure):

$$\frac{dP3(t)}{dt} = -6\lambda \cdot P3(t) - \mu_{p2} \cdot P3(t) + 7\lambda \cdot P2(t);$$

$$\frac{dP4(t)}{dt} = -5\lambda \cdot P4(t) - \mu_{p3} \cdot P4(t) + 6\lambda \cdot P3(t);$$

$$\frac{dP5(t)}{dt} = -4\lambda \cdot P5(t) - \mu_{p4} \cdot P5(t) + 5\lambda \cdot P4(t);$$

$$\frac{dP6(t)}{dt} = -\mu_{p5} \cdot P6(t) + 4\lambda \cdot P5(t).$$

Матричний вигляд скороченого графа станів і переходів ГМ, що має 8 пунктів (рис. 1, а):

$$MG = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 8\lambda \\ 2 & 1 & \mu_{p1} \\ 2 & 3 & 7\lambda \\ 3 & 1 & \mu_{p2} \\ 3 & 4 & 6\lambda \\ 4 & 1 & \mu_{p3} \\ 4 & 5 & 5\lambda \\ 5 & 1 & \mu_{p4} \\ 5 & 6 & 4\lambda \\ 6 & 1 & \mu_{p5} \end{pmatrix}$$

Нехай час відновлення $T_p = 10$ днів, інтенсивність відмов $\lambda = 1,5 \cdot 10^{-2}$, $\mu_{p1} = 0,1$.

Формуємо повну матрицю (A) інтенсивності переходів із стану в стан геодезичної мережі:

$$MTTF = \sum_k T_k \approx 140 \text{ днів}$$

– середній час роботи системи між відмовами MTBF (Mean time between failures):

$$MTBF = MTTF + T_p \approx 150 \text{ днів.}$$

На рисунку 3 наведено розв'язки системи лінійних диференціальних рівнянь у Mathcad за допомогою методу Рунге–Кутта–Мерсона.

	0	1	2	3	4
0	0	1	0	0	0
1	5.648	0.374	0.334	0.199	0.073
2	11.297	0.235	0.233	0.235	0.174
3	16.945	0.181	0.167	0.19	0.195
4	22.593	0.148	0.131	0.147	0.173
5	28.242	0.123	0.107	0.117	0.143
6	33.89	0.102	0.088	0.095	0.116
7	39.538	0.085	0.073	0.079	0.095
8	45.187	0.07	0.061	0.065	0.078
9	50.835	0.058	0.051	0.054	0.065
10	56.484	0.048	0.042	0.045	0.054
11	62.132	0.04	0.035	0.037	0.045
12	67.78	0.033	0.029	0.031	0.037
13	73.429	0.028	0.024	0.026	0.031
14	79.077	0.023	0.02	0.021	0.025
15	84.725	0.019	0.017	0.018	...

MR := Rkadapt(P0,0.2,TS,20,D1) =

	0	1	2	3	4
0	0	1	0	0	0
1	0.249	0.943	0.056	1.459·10 ⁻³	2.186·10 ⁻⁵
2	0.497	0.89	0.104	5.474·10 ⁻³	1.648·10 ⁻⁴
3	0.746	0.842	0.146	0.012	5.241·10 ⁻⁴
4	0.994	0.797	0.182	0.019	1.171·10 ⁻³
5	1.243	0.756	0.213	0.028	2.156·10 ⁻³
6	1.491	0.718	0.24	0.038	3.512·10 ⁻³
7	1.74	0.683	0.262	0.049	5.259·10 ⁻³
8	1.988	0.651	0.281	0.06	7.403·10 ⁻³
9	2.237	0.621	0.297	0.071	9.944·10 ⁻³
10	2.485	0.594	0.31	0.083	0.013
11	2.734	0.568	0.32	0.094	0.016
12	2.982	0.544	0.328	0.105	0.02
13	3.231	0.522	0.334	0.116	0.024
14	3.479	0.502	0.339	0.127	0.028
15	3.728	0.483	0.342	0.137	...

MR := Rkadapt(P0,0.5,TS,1000,D2) =

Рис. 3. Розрахунок системи диференціальних рівнянь у Mathcad для схеми з поточним відновленням до стану S_1

Застосування методу простору станів дозволяє визначити та проаналізувати стани, в яких перебуває ГМ, та переходи між ними. Сумарна ймовірність перебування системи у працездатних станах є функцією готовності $KG(t)$, а сумарна швидкість, із якою система переходить із множини працездатних станів у множину непрацездатних, – функцією інтенсивності потоку відмов $w(t)$. Функція $w(t)$ характеризує, як часто об'єкт стає непрацездатним, а функція $KG(t)$ –

відношення тривалості перебування у працездатному стані до тривалості його експлуатації, тобто це є ймовірність працездатності ГМ у вказаний момент часу.

Для кращої візуалізації отриманих розрахунків побудуємо графіки: ймовірності роботи до першої відмови (рис. 4, а); функції готовності $KG(t)$ (рис. 4, б) та графік частоти відмов $w(t)$ (рис. 4, в). Коефіцієнт готовності $KG = 0,737$; частота відмов $w \approx 0,006$.

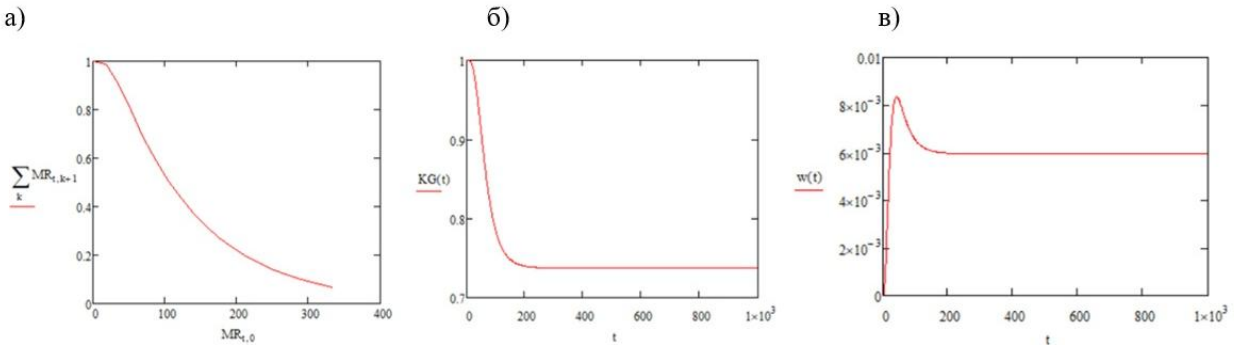


Рис. 4. Графіки для схеми поточного відновлення ГМ до стану S_1 :

а – ймовірності роботи до першої відмови $MR(t)$; б – функції готовності $KG(t)$; в – частоти відмов $w(t)$

Розглянемо схему (рис. 1, б) коли відновлення відбувається до попереднього стану за рахунок відновлення лише одного пункту, що займає значно менше часу. Запишемо систему диференціальних рівнянь:

$$\begin{aligned}\frac{dP1(t)}{dt} &= -8\lambda \cdot P1(t) + \mu_{p1} \cdot P2(t); \\ \frac{dP2(t)}{dt} &= -7\lambda \cdot P2(t) - \mu_{p1} \cdot P2(t) + 8\lambda \cdot P1(t); \\ \frac{dP3(t)}{dt} &= -6\lambda \cdot P3(t) - \mu_{p1} \cdot P3(t) + 7\lambda \cdot P2(t); \\ \frac{dP4(t)}{dt} &= -5\lambda \cdot P4(t) - \mu_{p1} \cdot P4(t) + 6\lambda \cdot P3(t); \\ \frac{dP5(t)}{dt} &= -4\lambda \cdot P5(t) - \mu_{p1} \cdot P5(t) + 5\lambda \cdot P4(t);\end{aligned}$$

$$\frac{dP6(t)}{dt} = -\mu_{p1} \cdot P6(t) + 4\lambda \cdot P5(t).$$

Повна матриця інтенсивності переходів зі стану в стан геодезичної мережі (рис. 1, б) набуде вигляду:

$$A = \begin{pmatrix} -8\lambda & \mu_{p1} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 8\lambda & -7\lambda - \mu_{p1} & \mu_{p1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 7\lambda & -6\lambda - \mu_{p1} & \mu_{p1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 6\lambda & -5\lambda - \mu_{p1} & \mu_{p1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 5\lambda & -4\lambda - \mu_{p1} & \mu_{p1} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 4\lambda & -\mu_{p1} \end{pmatrix}$$

Середній час перебування в працездатних станах до першої відмови:

$$T = \begin{pmatrix} 56.442 \\ 57.731 \\ 50.617 \\ 35.556 \\ 16.667 \end{pmatrix} \text{ днів}$$

MTTF $\approx$ 217 днів; MTBF $\approx$ 227 днів; KG = 0,914; $w \approx$ 0,011 (рис. 5). Аналіз графіків (рис. 5) показав, що завдяки довшому перебуванню у працездатних станах ГМ при поточному відновленні до попереднього стану, коефіцієнт готовності виріс, проте майже вдвічі збільшилась частота відмов.

Розглянемо випадок, коли відбувається повне відновлення ГМ, що включає вісім пунктів (рис. 1, в). Можна перейти у стан S1 лише з непрацездатного стану (S6), при

цьому залишимо без зміни інтенсивність відмови λ і час відновлення T_r .

Аналіз побудованих графіків (рис. 6) та розрахунки показали значно менші значення кількісних характеристик готовності (KG = 0,541; $w \approx$ 0,017) і середнього часу роботи до першої відмови (MTTF $\approx$ 59 днів) і між відмовами (MTBF $\approx$ 69 днів) порівняно з аналогічними показниками до схем із поточним відновленням ГМ (рис. 1, а, б).

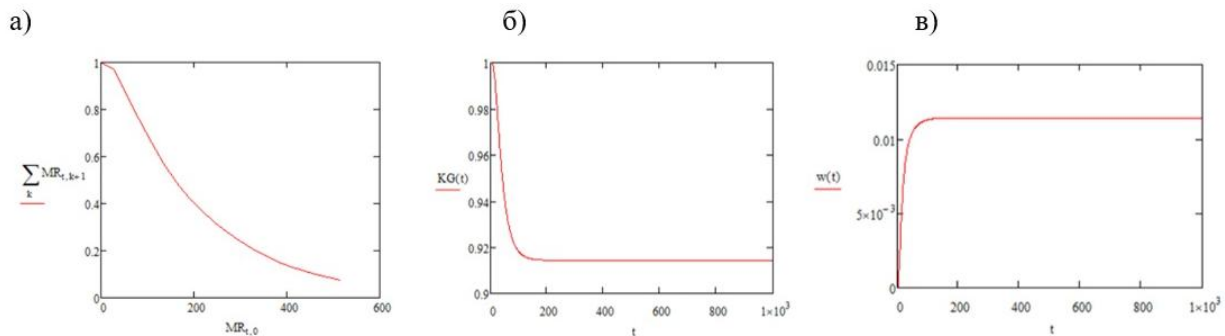


Рис. 5. Графіки поточного відновлення ГМ до стану S_{i-1} : а – $MR(t)$; б – $KG(t)$; в – $w(t)$

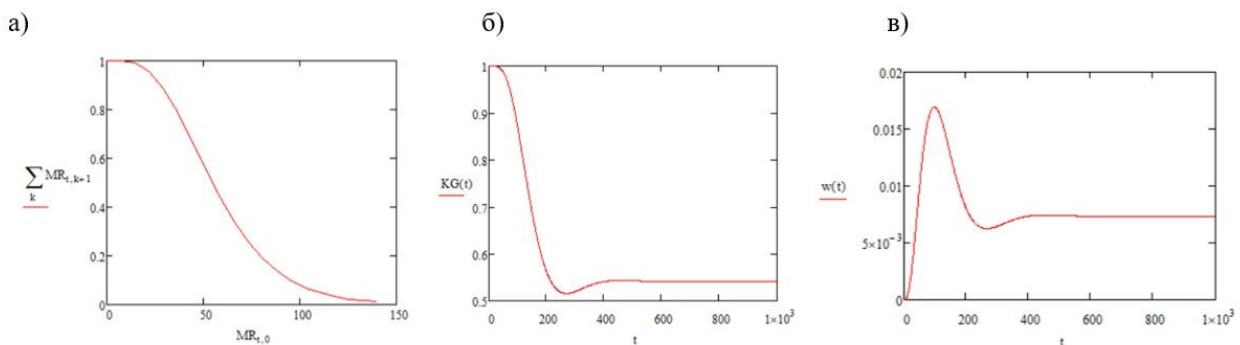


Рис. 6. Графіки повного відновлення ГМ: а – $MR(t)$; б – $KG(t)$; в – $w(t)$

Це дозволяє зробити висновок, що за однакових показників інтенсивності відмов λ і часу відновлення T_r важливою стає періодичність проведення обстежень (моніторингу) геодезичних пунктів, за результатами якого можна своєчасно відновити ГМ до працездатного стану. Найгірші показники функції готовності отримані за повного відновлення ГМ (рис. 1, в), найкращі – за поточного відновлення у попередній стан ГМ (рис. 1, б).

Якщо скоротити вдвічі час відновлення ($T_r = 5$ днів), тоді за першою схемою отримаємо збільшене значення KG = 0,929,

MTTF $\approx$ 326 днів; у випадку другої схеми ці показники суттєво зросли KG = 0,992 і MTTF $\approx$ 956 днів і стали оптимальним варіантом проєктування ГМ; за схемою повного відновлення (рис. 1, в) незначне поліпшення показника KG = 0,702.

Висновки та перспективи розвитку напрямку досліджень. Інженерно-геодезичні роботи становлять невід'ємну частину технології виконання інженерно-будівельних робіт, які повинні забезпечувати якість і надійність споруд. Забезпечення надійної та безпечної, довготривалої експлуатації будинків і споруд залежить від багатьох факторів, у

тому числі від достовірності даних геодезичного супроводу будівництва. Для цього на територіях, що підлягають забудові, рекомендується обирати стабільні, надійні геодезичні пункти для створення локальних геодезичних мереж для геодезичного супроводу будівництва.

Пропонується застосовувати поточне відновлення ГМ шляхом періодичного моніторингу стабільного стану геодезичних пунктів і проведення їх планових обстежень, не доводячи ГМ до критичного та катастрофічного непрацездатного стану.

Через те, що процес виходу з ладу елементів будівельних конструкцій має випадковий характер, стає неможливим визначення точного терміну служби будівлі. З метою своєчасного вживання інженерних заходів до підсилення фундаментів будівель

рекомендується проводити систематичний геомоніторинг розвитку деформаційних процесів, використовуючи стабільні (надійні) геодезичні пункти.

Важливою проблемою, яку потрібно вирішити на етапі проектування ГМ, стає вибір оптимальної періодичності і тривалості проведення відновлення мережі. Потрібно врахувати, що періодичність відновлення ГМ впливає на частоту появи аварійних ситуацій та на функцію готовності. Доцільним бачиться зниження часу робіт на відновлення ГМ, що у випадку зі схемою поточного відновлення до попереднього стану дозволить суттєво підвищити кількісні характеристики готовності ($K_G = 0,992$) і середній час роботи до першої відмови ($MTTF \approx 956$ днів).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. URL: <https://drive.google.com/file/d/1PGwFjEjtkl55VtcQ8YFUauLLiR2qreZf/view>
2. ДБН В.1.2-5:2007. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Науково-технічний супровід будівельних об'єктів. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=21673
3. ДБН В.1.2-12:2008. Будівництво в умовах ущільненої забудови. Вимоги безпеки. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=45889
4. ДБН В.1.2-14:2018. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. URL: <https://dreamdim.ua/wp-content/uploads/2018/12/DBN-V1214-2018.pdf>
5. ДБН В.1.3-2:2010. Геодезичні роботи у будівництві. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=25911
6. ДСТУ Б В.2.1-30:2014. Ґрунти. Методи вимірювання деформацій основ будинків і споруд. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=59085
7. ДСТУ Б В.1.2-3:2006. Прогини і переміщення. Вимоги проектування. URL: <https://uscc.ua/uploads/page/images/normativnye%20dokumenty/dstu/dstu-b-v-1-2-3-2006-progini-perem-shchennya.pdf>
8. ДСТУ-Н Б В.1.3-1:2009. Система забезпечення точності геометричних параметрів у будівництві. Виконання вимірювань, розрахунків та контроль точності геометричних параметрів. Настанова. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=25920
9. Бакулін Є. А. Визначення надійності будівель підвищеного рівня відповідальності з урахуванням факторів ризику : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01. Київ, 2010. 197 с.
10. Барашиков А. Я., Малишев О. М. Оцінювання технічного стану будівель та інженерних споруд : навч. посіб. для студ. вищих навч. закл. Київ : Основа, 2008. 320 с. URL: <https://library.knuba.edu.ua/node/572>
11. Червинський Я. Й., Петраков О. О., Зоценко М. Л., Винников Ю. Л. Дослідження технічного стану будівель та споруд при небезпечних геологічних процесах. *Наука та будівництво*. 2014. № 2. С. 17–24. URL: <http://www.niisk.com/vidavnictvo/17-24-1.pdf>
12. Lysnytska K., Pershakov V. Оцінка надійності будівлі на прикладі житлового будинку. *Будівельні конструкції. Теорія і практика*. 2018. № 1 (3). С. 58–67. URL: <http://bctp.knuba.edu.ua/article/view/184013>
13. Бегічев С. В., Ішутіна Г. С., Трєгуб О. В. Логіко-ймовірнісне моделювання відмов геодезичних мереж. *Український журнал будівництва та архітектури*. 2024. № 3 (021). С. 33–46. URL: <https://doi.org/10.30838/J.BPSACEA.2312.040624.33.1057>

REFERENCES

1. DBN V.1.2-2:2006. Systema zabezpechennia nadiinosti ta bezpeky budivelnykh ob'ektiv. Navantazhennia i vplyvy. Normy proektuvannia [System for ensuring the reliability and safety of construction objects. Loads and influences. Design standards]. URL: <https://drive.google.com/file/d/1PGwFjEjtkl55VtcQ8YFUauLLiR2qreZf/view> (in Ukrainian).

2. *DBN V.1.2-5:2007. Systema zabezpechennia nadiinosti ta bezpeky budivelnykh ob'ektiv. Naukovo-tekhnichnyi suprovod budivelnykh ob'ektiv* [System for ensuring the reliability and safety of construction objects. Scientific and technical support of construction objects]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=21673 (in Ukrainian).
3. *DBN V.1.2-12:2008. Budivnytstvo v umovakh ushchilненої забудови. Vymohy bezpeky* [Construction in the conditions of compacted buildings. Security requirements.]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=45889 (in Ukrainian).
4. *DBN V.1.2-14:2018. Zahalni pryntsypy zabezpechennia nadiinosti ta konstruktyvnoi bezpeky budivel i sporud* [General principles of ensuring the reliability and structural safety of buildings and structures] URL: <https://dreamdim.ua/wp-content/uploads/2018/12/DBN-V1214-2018.pdf> (in Ukrainian).
5. *DBN V.1.3-2:2010. Heodezychni roboty u budivnytstvi* [Geodetic works in construction]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=25911 (in Ukrainian).
6. *DSTU B V.2.1-30:2014. Grunty. Metody vymyriuvannia deformatsii osnov budynkiv i sporud* [Soils. Methods of measuring deformations of foundations of buildings and structures]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=59085 (in Ukrainian).
7. *DSTU B V.1.2-3:2006. Prohyny i peremishchennia. Vymohy proektuvannia* [Deflections and displacements. Design requirements]. URL: <https://uscc.ua/uploads/page/images/normativnye%20dokumenty/dstu/dstu-b-v-1-2-3-2006-progini-perem-shchennya.pdf> (in Ukrainian).
8. *DSTU-N B V.1.3-1:2009. Systema zabezpechennia tochnosti heometrychnykh parametriv u budivnytstvi. Vykonannia vymyriuvan, rozrakhunok ta kontrol tochnosti heometrychnykh parametriv. Nastanova* [System for ensuring the accuracy of geometric parameters in construction. Performance of measurements, calculation and accuracy control of geometric parameters. Attitude]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=25920 (in Ukrainian).
9. Bakulin Ye.A. *Vyznachennia nadiinosti budivel pidvyshchenoho rivnia vidpovidalnosti z urakhuvanniam faktoriv ryzyku : dys... kand. tekhn. nauk : 05.23.01* [Determining the reliability of buildings with an increased level of responsibility, taking into account risk factors : diss... Cand. Sc. (Tech.) : 05.23.01]. Kyiv, 2010, 197 p. (in Ukrainian).
10. Barashykov A.Ya. and Malyshev O.M. *Otsiniuvannia tekhnichnoho stanu budivel ta inzhenernykh sporud* [Assessment of the technical condition of buildings and engineering structures]. *Osnova* [Basis]. 2008, 320 p. URL: <https://library.knuba.edu.ua/node/572> (in Ukrainian).
11. Chervynskiy Ya.Yo., Petrakov O.O., Zotsenko M.L. and Vynnykov Yu.L. *Doslidzhennia tekhnichnoho stanu budivel ta sporud pry nebezpechnykh heolohichnykh protsesakh* [Research of the technical condition of buildings and structures during dangerous geological processes]. *Nauka ta budivnytstvo* [Science and Construction] 2014, no. 2, pp. 14–24. URL: <http://www.niisk.com/vidavnictvo/17-24-1.pdf> (in Ukrainian).
12. Lysnytska K. and Pershakov V. *Otsinka nadiinosti budivli na prykladi zhytlovoho budynku* [Assessment of building reliability using the example of a residential building]. *Budivelni konstruktzii. Teoriia i praktyka* [Building Structures. Theory and Practice]. 2018, no. 1 (3), pp. 58–67. URL: <http://bctp.knuba.edu.ua/article/view/184013> (in Ukrainian).
13. Biehichev S.V., Ishutina H.S. and Tregub O.V. *Lohiko-ymovirnisne modeliuvannia vidmov heodezychnykh merezh* [Logical-probabilic modeling of failures of geodesic networks]. *Ukrainskyi zhurnal budivnytstva ta arkhitektury* [Ukrainian Journal of Civil Engineering and Architecture]. 2024, no. 3 (021), pp. 33–46. URL: <https://doi.org/10.30838/J.BPSACEA.2312.040624.33.1057> (in Ukrainian).

Надійшла до редакції: 26.08.2024.

УДК 621.039:006.4.2:002

DOI: 10.30838/UJCEA.2312.301024.21.1088

ПІДХОДИ ДО ПОДОВЖЕННЯ РЕСУРСУ БІОЛОГІЧНОГО ЗАХИСТУ ЯДЕРНИХ УСТАНОВОК АТОМНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ УКРАЇНИ

БЄЛІКОВ А. С.¹, *докт. техн. наук, проф.*,
ПИЛИПЕНКО О. В.^{2*}, *канд. техн. наук, доц.*,
ШАЛОМОВ В. А.³, *канд. техн. наук, доц.*,
ГВАДЖАІА Б. Д.⁴, *канд. техн. наук*,
ДУБОВ Т. М.⁵, *канд. техн. наук, доц.*

¹ Кафедра охорони праці, цивільної та техногенної безпеки, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-34-73, e-mail: belikov@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-5822-9682

^{2*} Кафедра охорони праці, цивільної та техногенної безпеки, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-34-57, e-mail: pylypenko.oleksandr@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-9644-3118

³ Кафедра охорони праці, цивільної та техногенної безпеки, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-34-73, e-mail: shalomov.volodymyr@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-6890-932X

⁴ Штаб цивільного захисту ректорату, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (066) 237-68-24, e-mail: hvadzhaia.bezhan@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-5567-908X

⁵ Кафедра цивільної інженерії, технології будівництва та захисту довкілля, Дніпровський державний аграрно-економічний університет, вул. Сергія Єфремова, 25, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-34-73, e-mail: dubov.t.m@365.dsau.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-1740-9251

Анотація. Постановка проблеми. Забезпечення безпеки роботи атомних станцій – одна з основних проблем національної безпеки України. Експлуатація діючих енергоблоків атомних електростанцій в Україні завжди була пов'язана з ризиком витоку радіаційних речовин у ґрунт, річку або атмосферу. З кінця 2000-х років перед енергетиками постала досить суттєва проблема: як подовжити нормативну експлуатацію та подовжити використання біологічного захисту блоків? У країні експлуатується 15 енергоблоків АЕС, три енергоблоки ЧАЕС знімаються з експлуатації в Чорнобильській зоні відчуження, енергоблок № 4 – разом з об'єктом «Укриття» й новим безпечним конфайнментом перебуває у процесі перетворення на екологічно-безпечну систему. Україна має низку об'єктів із відпрацьованим ядерним паливом, радіоактивними відходами й джерелами іонізуючого випромінювання. Окрім того, радіаційні технології використовуються у промисловості, медицині, науці та інших галузях. **Мета статті** – аналіз технічного стану та експлуатації енергоблоків атомних електростанцій України та розгляд питання щодо оцінювання фізичного зносу конструкцій блоків АЕС та заходів, спрямованих на посилення безпеки їх експлуатації. Подальше підвищення рівня безпеки експлуатації енергоблоків, зменшення ризиків виникнення аварій на АЕС під час стихійного лиха або інших екстремальних ситуацій, підвищення ефективності управління проектними і запроектованими аваріями на АЕС, мінімізація їх наслідків. **Висновок.** Розглянуті питання щодо подовження ресурсу експлуатації енергетичних блоків, що експлуатуються в Україні, дуже актуальні. Подовження ресурсу біологічного захисту блоків атомних станцій з урахуванням національного та міжнародного досвіду дозволяє подовжити експлуатацію атомної станції без зупинки та консервування. З урахуванням фактичного стану будівельних конструкцій блоків запропоновано удосконалену систему управління, яка дозволяє оцінити ризики виникнення позаштатних та аварійних ситуацій у процесі експлуатації обладнання енергетичних блоків та усунення порушень під час планових проектних та ремонтних робіт.

Ключові слова: біологічний захист; атомна електростанція; ядерна безпека; аварія; експлуатація енергоблоків; підвищення безпеки; будівельні конструкції

APPROACHES TO EXTENDING THE LIFE OF BIOLOGICAL PROTECTION OF NUCLEAR FACILITIES AT UKRAINIAN NUCLEAR POWER PLANTS

BIELIKOV A.S.¹, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,

PYLYPENKO O.V.^{2*}, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*,
SHALOMOV V.A.³, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*,
HVADZHAIA B.D.⁴, *Cand. Sc. (Tech.)*,
DUBOV T.M.⁴, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*

¹ Department of Labor Protection, Civil and Technogenic Safety, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Architect Oleh Petrov Str., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-57, e-mail: belikov@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-5822-9682

^{2*} Department of Labor Protection, Civil and Technogenic Safety, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Architect Oleh Petrov Str., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-73, e-mail: pylypenko.oleksandr@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-9644-3118

³ Department of Labor Protection, Civil and Technogenic Safety, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Architect Oleh Petrov Str., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-57, e-mail: shalomov.volodymyr@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-6890-932X

⁴ Civil Defence Headquarters, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Architect Oleh Petrov Str., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (066) 237-68-24, e-mail: hvadzhaia.bezhan@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-5567-908X

⁵ Department of Civil Engineering, Construction Technology and Environmental Protection, Dnipro State Agrarian and Economic University, 25, Serhii Yefremov Str., Dnipro, 49600, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-73, e-mail: dubov.t.m@365.dsau.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-1740-9251

Abstract. Problem statement. Ensuring the safety of nuclear power plants is one of the main issues of Ukraine's national security. The operation of operating nuclear power units in Ukraine has always been associated with the risk of radiation leakage into the soil, rivers or the atmosphere. Since the late 2000s, the power industry has faced a significant challenge: 'How to extend the regulatory operation and prolong the use of biological protection of the units?' There are 15 nuclear power units in operation in the country, three ChNPP units are being decommissioned in the Chernobyl Exclusion Zone, and Unit 4, together with the Shelter and the new safe confinement, is in the process of being transformed into an environmentally safe system. Ukraine has a number of facilities with spent nuclear fuel, radioactive waste and ionising radiation sources. In addition, radiation technologies are used in industry, medicine, science and other sectors. **The purpose of the article** – analysis of the technical condition and operation of Ukrainian nuclear power units and consideration of the issue of assessing the physical deterioration of NPP unit structures and measures aimed at improving their operational safety. To further improve the level of safety of power units, reduce the risks of accidents at NPPs during natural disasters or other extreme situations, improve the efficiency of managing design and beyond-design basis accidents at NPPs, and minimise their consequences. **Conclusion.** The considered issues on lifetime extension of power units in operation in Ukraine are highly relevant. The issue of extending the life of biological protection of nuclear power units, taking into account national and international experience, allows to continue operation of a nuclear power plant without shutdown and mothballing. Taking into account the actual state of the building structures of the units, an improved control system was proposed that allows assessing the risks of abnormal and emergency situations during the operation of power unit equipment and eliminating violations during scheduled design and repair work.

Keywords: *biological defence; nuclear power plant; nuclear safety; accident; power unit operation; safety improvement; building structures*

Постановка проблеми. Експлуатація діючих енергоблоків атомних електростанцій (АЕС) в Україні завжди була пов'язана з ризиком витоку радіаційних речовин у ґрунт, річку або атмосферу. З кінця 2000-х років перед енергетиками постала досить суттєва проблема: як продовжити нормативну експлуатацію та використання біологічного захисту блоків? [1–2].

У країні експлуатується 15 енергоблоків АЕС, три енергоблоки ЧАЕС зняті з експлуатації в Чорнобильській зоні відчуження, енергоблок № 4 – разом з

об'єктом «Укриття» й новим безпечним конфайнментом перебуває у процесі перетворення на екологічно-безпечну систему.

Україна має низку об'єктів із відпрацьованим ядерним паливом, радіоактивними відходами й джерелами іонізуючого випромінювання. Окрім того, радіаційні технології використовуються у промисловості, медицині, науці та інших галузях.

Аналіз публікацій. У 2017 році Україна приєдналась до першої тематичної партнерської перевірки, яка була організована

Європейською комісією на основі пропозицій Західноєвропейської асоціації ядерних регуляторів (WENRA), погоджених Європейською групою регуляторів у сфері ядерної безпеки (ENSREG), за напрямом «Управління старінням» [3].

Перевіркою було охоплено енергоблоки АЕС та дослідні реактори з потужністю більше 1 МВт, що перебували в експлуатації станом на 31 грудня 2017 року або будувались станом на 31 грудня 2016 року, результати яких наведено у звітах [4–6]:

European Nuclear Safety Regulator's Group ENSREG 1st Topical Peer Review Report «Ageing Management». October 2018 та European Nuclear Safety Regulator's Group ENSREG 1st Topical Peer Review «Ageing Management» Country specific findings. October 2018.

У документах [1; 2] для кожної країни-учасниці партнерської перевірки визначено статус виконання, приклади кращих практик, а також сформовано напрями, що потребують покращення, для яких кожна країна повинна скласти національний план дій зі строками виконання відповідних заходів. Цей план має на меті забезпечити моніторинг прогресу щодо низки результатів досліджень, отриманих шляхом тематичної партнерської перевірки, та постає документом, що інформує про подальші заходи з усунення виявлених недоліків за результатами тематичної партнерської перевірки.

У межах цієї діяльності Держатомрегулювання за підтримки колективів ДНТЦ ЯРБ, ДП НАЕК «Енергоатом», а також Інституту ядерних досліджень НАН України, у 2017 році розроблено й оприлюднено «Національний звіт до першої тематичної партнерської перевірки за напрямом «Управління старінням» [3]. Цей та інші звіти країн-учасниць були проаналізовані спеціалізованими експертними групами, організованими ENSREG для незалежної перевірки. Загалом до національних звітів

подано 2 300 коментарів і зауважень, а у травні 2018 року у Люксембургу проведено тижневий семінар, на якому обговорено результати самооцінки щодо першої партнерської перевірки. За підсумками цього семінару ENSREG сформовано й оприлюднено два звіти з відповідними результатами.

Аналіз останніх досліджень [7–9] показав, що в Україні забезпечено сталий та безпечний режим роботи АЕС відповідно до Закону України «Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку» та положень Конвенції про ядерну безпеку [10–12]. На системній основі впроваджуються заходи з підвищення рівня безпеки діючих АЕС відповідно до вимог національних норм, правил і стандартів з ядерної та радіаційної безпеки, рекомендацій Міжнародного агентства з атомної енергії (МАГАТЕ) та з урахуванням передової міжнародної практики [13; 14].

Мета статті – аналіз технічного стану та експлуатації енергоблоків атомних електростанцій України та розгляд питання щодо оцінки фізичного зносу конструкцій блоків АЕС та заходів, спрямованих на підвищення безпеки їх експлуатації; подальшого підвищення рівня безпеки експлуатації енергоблоків, зменшення ризиків виникнення аварій на АЕС під час стихійного лиха або інших екстремальних ситуацій, підвищення ефективності управління проєктними і запроєктними аваріями на АЕС, мінімізація їх наслідків.

Результати досліджень. Україна експлуатує 15 енергоблоків і посідає 9-те місце у світі за цим показником, а за встановленою потужністю енергоблоків – 7-ме місце. Єдиним оператором усіх діючих атомних електростанцій в Україні постає ДП «НАЕК «Енергоатом», до складу якого входять чотири АЕС із загальною встановленою потужністю діючих енергоблоків 13 835 МВт.

За 2017 рік вироблено 85,576 млрд кВт·год., що становить 55,1 % від загального виробництва електроенергії в Україні. Коефіцієнт використання встановленої потужності (КВВП) АЕС у 2017 році склав 70,6 %. За 2018 рік вироблено 84,398 млрд

кВт·год., що становить 53,0 % від загального виробництва електроенергії в Україні. КВВП АЕС у 2018 році склав 69,6 %. За 2019 рік вироблено 83,003 млрд кВт·год., що становить 53,9 % від загального виробництва електроенергії в Україні. КВВП АЕС у 2019 році склав 73,4 %. За 2020 рік вироблено 76,202 млрд кВт·год., що становить 51,2 % від загального виробництва електроенергії в Україні. КВВП АЕС у 2020 році склав 65,2 %. За 2021 рік вироблено 86,422 млрд кВт·год., що становить 55,2 % від загального виробництва електроенергії в Україні. КВВП АЕС у 2021 році склав 71,1 % (рис. 1).



Рис. 1. Виробництво електроенергії(млн. кВт·год.) та частка в загальному енергобалансі

Партнерські перевірки WANO1 і МАГАТЕ підтвердили безпеку експлуатації енергоблоків АЕС України, робіт, що ведуться на всіх енергоблоках у рамках діючих програм із підвищення безпеки та продовження терміну експлуатації енергоблоків АЕС.

Посилення безпеки АЕС. Заходи з підвищення безпеки енергоблоків АЕС України [15–18] впроваджуються відповідно до «Комплексної (зведеної) програми підвищення рівня безпеки енергоблоків атомних електростанцій (К(з)ППБ)», затвердженої Кабінетом Міністрів України 2011 року (рис. 2). У 2015 році Кабінет Міністрів України продовжив термін дії К(з)ППБ до 2020 року. Мета К(з)ППБ:

- подальше підвищення рівня безпеки експлуатації енергоблоків АЕС;
- зменшення ризиків виникнення аварій на АЕС під час стихійного лиха або інших екстремальних ситуацій;
- підвищення ефективності управлін-

ня проєктними і запроєктними аваріями на АЕС, мінімізація їх наслідків.



Рис. 2. Комплексна програма підвищення безпеки енергоблоків АЕС України

В основу К(з)ППБ покладено заходи з підвищення безпеки попередньої програми: «Концепції підвищення безпеки діючих енергоблоків атомних електростанцій» 2005 року, що не були виконані експлуатуючою організацією до закінчення терміну дії Концепції, а також заходи з підвищення безпеки енергоблоків № 2 ХАЕС та № 4 РАЕС, впроваджені під час введення в експлуатацію цих енергоблоків.

У К(з)ППБ також враховано результати та рекомендації місій МАГАТЕ з «проєктної безпеки», проведених на всіх АЕС у рамках імплементації «Меморандуму між Україною та ЄС про розуміння щодо співробітництва в енергетичній галузі» за напрямом «Ядерна безпека».

Після аварії на АЕС Фукусіма–Даїчі (Японія) до програми включені додаткові заходи за результатами позачергової поглибленої переоцінки безпеки українських АЕС («стрес-тестів») і додаткові заходи з протипожежної безпеки. Впровадження заходів з підвищення безпеки дає змогу створити необхідні умови для прийняття рішень щодо можливості продовження строків експлуатації енергоблоків АЕС.

У період з 2017 по 2020 рік закінчуються проєктні терміни експлуатації шести енергоблоків АЕС України (табл.).

Таблиця

Дані про енергоблоки АЕС України

АЕС	Блок	Тип реактора	Закінчення проєктного / перепризначеного терміну експлуатації
ЗАЕС	1	ВВЕР-1000 / В-320	23.12.2015 / 23.12.2025
	2	ВВЕР-1000 / В-320	19.02.2016 / 19.12.2026
	3	ВВЕР-1000 / В-320	05.03.2017 / 05.03.2027
	4	ВВЕР-1000 / В-320	04.04.2018
	5	ВВЕР-1000 / В-320	27.05.2020
	6	ВВЕР-1000 / В-320	21.10.2026
ПУАЕС	1	ВВЕР-1000 / В-302	02.12.2013 / 02.12.2023
	2	ВВЕР-1000 / В-338	12.05.2015 / 31.12.2025
	3	ВВЕР-1000 / В-320	10.02.2020
РАЕС	1	ВВЕР-440 / В-213	22.12.2010 / 22.12.2030
	2	ВВЕР-440 / В-213	22.12.2011 / 22.12.2031
	3	ВВЕР-1000 / В-320	11.12.2017
	4	ВВЕР-1000 / В-320	07.06.2035
ХАЕС	1	ВВЕР-1000 / В-320	13.12.2018
	2	ВВЕР-1000 / В-320	07.09.2035

Протягом 2021 року в рамках регулювального супроводу К(з)ППБ Держатомрегулювання погоджено 42 звіти про виконання заходів із 59 запланованих на 2021 рік.

Згідно з план-графіками впровадження заходів К(з)ППБ, основні зусилля експлуатуючої організації в 2017 році було сконцентровано на розробленні та впровадженні заходів для енергоблоків № 3, 4 Запорізької АЕС, № 3 Рівненської АЕС та № 1 Хмельницької АЕС, в рамках діяльності з продовження терміну експлуатації. Досвід упровадження заходів на так званих «пілотних» енергоблоках у подальшому застосовується і на інших діючих енергоблоках.

Важливі для безпеки ядерної установки (ЯУ) модифікації (зміна конфігурації ЯУ, приведення рівня безпеки ЯУ у відповідність до діючих норм та правил, зміна експлуатаційних документів, модифікація організаційної структури експлуатуючої організації) впроваджуються за погодженням із Держатомрегулюванням.

Держатомрегулювання здійснює постійний контроль на всіх етапах проведення модифікації (розроблення концепції, монтаж і пусконаладжувальні роботи, введення в дослідну та/або промислову експлуатацію) шляхом проведення оцінки безпеки матеріалів, що

обґрунтовують безпеку та узгодження відповідних технічних рішень, а також – шляхом безпосереднього нагляду за виконанням модифікацій, внесенням змін до експлуатаційної документації та підготовки персоналу (рис. 3).

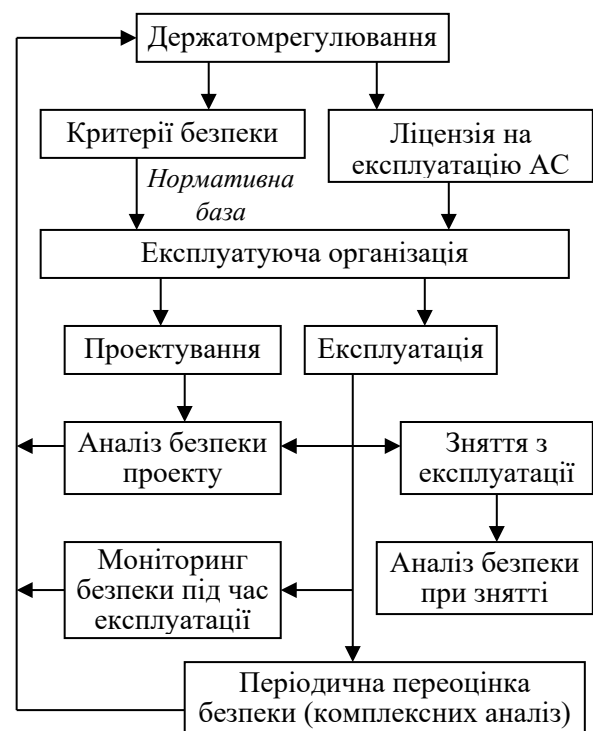


Рис. 3. Системи оцінки рівня безпеки енергоблоків АЕС

На початку 2013 року Держатомрегулювання спільно із Міністерством енергетики та вугільної промисловості

України, Міністерством оборони України, Міністерством екології та природних ресурсів України та Державним агентством України з управління зоною відчуження розробила «Національний план дій за результатами «стрес-тестів», спрямований на підвищення безпеки українських АЕС.

Зазначений документ розроблено відповідно до рекомендацій Групи регуляторів ядерної безпеки (ENSREG) щодо структури та змісту національних планів дій («National Action Plan (NAP) Guidance as directed within the ENSREG Stress test Action Plan» з додатками).

«Національний план дій за результатами «стрес-тестів» враховує:

- рекомендації та пропозиції ENSREG, наведені у звіті «Compilation of recommendations and suggestions. Peer review of stress tests performed on European nuclear power plants», за напрямками «Зовнішні екстремальні впливи», «Втрата функцій безпеки» та «Управління важкими аваріями»;

- основні питання Екстраординарної наради країн-учасниць Конвенції про ядерну безпеку (серпень 2012 р., Відень, Австрія) за напрямками «Національні організації», «Аварійна готовність та реагування» і «Міжнародне співробітництво».

Наприкінці 2017 року повторно оновлено Національний план дій України за результатами «стрес-тестів» щодо поточного стану та термінів реалізації заходів. Кількість запланованих заходів та їх обсяг не зазнали змін.

Переоцінка безпеки та продовження терміну експлуатація ядерних установок. Для енергоблоків АЕС України встановлено 30-річний проєктний строк експлуатації. Одинадцять енергоблоків були введені в експлуатацію впродовж 1980–1990 років. Уряд України взяв курс на продовження експлуатації енергоблоків АЕС, який відображений в «Енергетичній стратегії України на період до 2035 року» і «Комплексній програмі робіт щодо продовження строку експлуатації діючих енергоблоків атомних електростанцій» ДП НАЕК «Енергоатом».

Відповідно до чинного законодавства, рішення про можливість продовження терміну експлуатації енергоблока АЕС приймається Держатомрегулюванням на основі висновку державної експертизи з ядерної та радіаційної безпеки звіту з періодичної переоцінки безпеки (ЗППБ), шляхом внесення змін до ліцензії на його експлуатацію. Експлуатація в понадпроєктний строк може бути дозволена тільки за умови, що рівень безпеки енергоблока АЕС не нижчий, ніж встановлений чинними нормами та правилами з ядерної та радіаційної безпеки.

ЗППБ формується за результатами виконання значного обсягу робіт, які, зокрема, стосуються:

- оцінення поточного технічного стану елементів та конструкцій енергоблока АЕС та продовження строку їх експлуатації;

- усунення відступів від вимог норм, правил та стандартів з ЯРБ, які набули чинності впродовж останніх років;

- виконання заходів із підвищення безпеки, запланованих до реалізації в рамках К(з)ППБ;

- виконання заходів за результатами подій на АЕС Фукусіма–Даїчі та «стрес-тестів»;

- кваліфікації обладнання на «жорсткі» умови навколишнього середовища, сейсмічні впливи та оцінки сейсмічної стійкості трубопроводів, будівель та споруд енергоблока АЕС;

- реалізації програми управління старінням елементів та конструкцій енергоблока АЕС;

- виконання поглибленого аналізу безпеки із застосування детерміністичних та імовірнісних методів;

- підвищення експлуатаційної безпеки шляхом удосконалення експлуатаційної та аварійної документації;

- удосконалення системи управління до рівня, що відповідає вимогам норм та правил ядерної та радіаційної безпеки, рекомендаціям МАГАТЕ та кращій світовій практиці;

- удосконалення системи аварійної готовності.

Відповідно до вимог норм, правил та стандартів з ЯРБ, ЗППБ оформляється у вигляді окремих звітів із результатами оцінки 14 факторів безпеки:

- проєкт енергоблока АЕС;
- поточний технічний стан систем та елементів;
- класифікація обладнання;
- старіння;
- детерміністичний аналіз безпеки;
- імовірнісний аналіз безпеки;
- аналіз внутрішніх та зовнішніх подій;
- експлуатаційна безпека;
- використання досвіду інших АЕС і результатів наукових досліджень;
- організація та управління;
- експлуатаційна документація;
- людський фактор;
- аварійна готовність і планування;
- вплив на навколишнє середовище.

Зазначений підхід відповідає рекомендаціям МАГАТЕ та кращій світовій практиці, а також дозволяє всебічно оцінити поточний рівень безпеки енергоблока та прийняти зважене рішення щодо можливості та умов подальшої експлуатації енергоблока, включаючи експлуатацію у понадпроєктний термін [19].

Для енергоблоків ВВЕР-1000 серії В-320 - № 1, № 2, № 3 Запорізької АЕС та № 3 Рівненської АЕС проєктні терміни експлуатації яких закінчились у 2016–2020 роках, ДП «НАЕК «Енергоатом» обрало «другий варіант» продовження терміну експлуатації, а саме: «зупинка енергоблока після завершення проєктного

строку експлуатації, здійснення організаційно-технічних заходів для продовження експлуатації та поновлення експлуатації».

Для кожного із цих енергоблоків Держатомрегулювання погодила програми підготовки до довгострокової (надпроєктної) експлуатації та плани ліцензування, у відповідності з якими ДП НАЕК «Енергоатом» проводить роботи та подає до Держатомрегулювання звітні матеріали.

Результати виконаних робіт стають основою ЗППБ, який подається до Держатомрегулювання для розгляду та проведення державної експертизи ЯРБ.

Висновки

Розглянуто актуальні питання щодо подовження ресурсу експлуатації енергетичних блоків, які експлуатуються в Україні. Подовження ресурсу біологічного захисту блоків атомних станцій з урахуванням національного та міжнародного досвіду дозволяє продовжити експлуатацію атомної станції без зупинки та консервування.

З урахуванням фактичного стану будівельних конструкцій блоків запропоновано удосконалену систему управління, яка дозволяє оцінити ризики виникнення позаштатних та аварійних ситуацій у процесі експлуатації обладнання енергетичних блоків та усунення порушень під час проведення планових проєктних та ремонтних робіт.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність», схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 18.08.2017 № 605.
2. Програма оптимізації технічного-обслуговування та ремонтів систем, важливих для безпеки, на основі ризик-інформованого управління конфігурацією АЕС (Енергоблок № 2 ВП ЗАЕС). НАЕК «Енергоатом», 2017. 30 с.
3. Національний звіт до першої тематичної партнерської перевірки за напрямом «управління старінням». Київ, 2017. URL: <https://snriu.gov.ua/news/natsionalniy-zvit-do-pershoi-tematichnoi-partnerskoi-perevirki-za-napryamkom-upravlinnya-starinnyam> (дата звернення: 22.05.2024).
4. European Nuclear Safety Regulator's Group ENSREG. 1st Topical Peer Review Report «Ageing Management». October 2018.
5. European Nuclear Safety Regulator's Group ENSREG. 1st Topical Peer Review «Ageing Management. Country specific findings». October 2018.
6. Ukrainian Regulatory Threat Assessment 2017. Reassessment of threats in regulation of nuclear and radiation safety in Ukraine. Stralevern Rapport 2018:5, NRPA, 2018.
7. Гуменюк Д. В., Дем'янюк В. В., Ільїна А. І., Шевченко І. А. Перспективи оптимізації технічних

обслуговувань і ремонтів з використанням ризик-інформованого прийняття рішень на АЕС України. *Ядерна та радіаційна безпека*. 2019. № 1 (81). DOI: 10.32918/nrs.2019.1(81).02.

8. Жабін О. І., Печериця О. В., Тараканов С. О., Шевченко І. А. Підхід до регуляторної передліцензійної оцінки проєкту ММР іноземного постачальника. *Ядерна та радіаційна безпека*. 2020. № 4 (88). С. 4–13. DOI: 10.32918/nrs.2020.4(88).01.

9. Балашевська Ю. В., Жабін О. І., Печериця О. В., Плачков Г. І., Рижов Д. І., Шевченко І. А. Застосування результатів роботи Форуму регуляторів ММР у рамках ліцензування проєктів ММР в Україні. *Ядерна та радіаційна безпека*. 2020. № 3 (87). С. 4–12. DOI: 10.32918/nrs.2020.3(87).01.

10. Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку: Закон України від 08.02.1995. База даних «Законодавство України». ВР України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua> (дата звернення: 22.05.2024).

11. State hygiene standards. Radiation safety standards of Ukraine (NRBU-97).

12. The Nuclear Safety Convention, IAEA, Doc. INFCIRC/449 of 5 July 1994; reproduced in 33 International Legal Materials. P. 1514. 1994.

13. Ageing Management for Nuclear Power Plants. Safety Guide. NS-G-2.12.

14. Ageing Management for Nuclear Power Plants : International Generic Aging Lessons Learned (IGALL) SRS 82.

15. СОУ НАЕК 158:2020. Забезпечення технічної безпеки. Технічні вимоги до влаштування та безпечної експлуатації обладнання і трубопроводів атомних електричних станцій з реакторами ВВЕР.

16. СОУ НАЕК 080:2023. Експлуатація технологічного комплексу. Довгострокова експлуатація діючих енергоблоків атомної електростанції. Загальні положення.

17. СОУ НАЕК 084:2015. Технічне обслуговування та ремонт. Сталеві відливки для атомних енергетичних установок. Правила контролю.

18. НП 306.2.099-2004. Загальні вимоги до продовження експлуатації енергоблоків АЕС у понадпроектний строк за результатами здійснення періодичної переоцінки безпеки.

19. Кравченко Р. О., Пилипенко О. В. Обстеження біологічного захисту ядерно-енергетичних установок атомних станцій в Україні. *Безпека життєдіяльності в XXI столітті : зб. тез допов. XV Міжвуз. студ. наук.-практ. конф. (м. Дніпро, 11–12 квіт. 2019 р.)*. Дніпро : ПДАБА, 2019. С. 8-10.

REFERENCES

1. *Enerhetychna stratehiya Ukrayiny na period do 2035 roku "Bezpeka, enerhoefektyvnist', konkurentospromozhnist'", skhvalena rozporядzhenniam Kabinetu Ministriv Ukrayiny vid 18.08.2017 № 605* [The energy strategy of Ukraine for the period until 2035 "Security, energy efficiency, competitiveness", approved by the order of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated August 18, 2017 no. 605]. (in Ukrainian).

2. *Prohrama optymizatsiyi tekhnichnoho-obsluhovuvannya ta remontiv system, vazhlyvykh dlya bezpeky, na osnovi ryzyk-informovanoho upravlinnya konfiguracyu AES (Enerhoblok № 2 VP ZAES). NAEK "Enerhoatom"* [Programme for optimisation of maintenance and repair of safety-critical systems based on risk-informed management of NPP configuration (ZNPP Unit 2). NNEGC "Energoatom"]. (in Ukrainian).

3. *Natsionalnyi zvit do pershoi tematychnoi partnerskoi perevirky za napriamom "upravlinnia starinniam"* [National report on the first thematic peer review in the area of ageing management]. Kyiv, 2017. URL: <https://snriu.gov.ua/news/natsionalniy-zvit-do-pershoi-tematichnoi-partnerskoi-perevirki-za-napryamkom-upravlinnya-starinniam> (date of application: 05.22.2024). (in Ukrainian).

4. European Nuclear Safety Regulator's Group ENSREG. 1st Topical Peer Review Report "Ageing Management". October, 2018.

5. European Nuclear Safety Regulator's Group ENSREG. 1st Topical Peer Review "Ageing Management. Country specific findings". October, 2018.

6. Ukrainian Regulatory Threat Assessment 2017. Reassessment of threats in regulation of nuclear and radiation safety in Ukraine. Stralevern Rapport 2018:5, NRPA, 2018.

7. Humeniuk D.V., Demianiuk V.V., Ilina A.I. and Shevchenko I.A. *Perspektyvy optymizatsii tekhnichnykh obsluhovuvan i remontiv z vykorystanniam ryzyk-informovanoho pryiniattia rishen na AES Ukrainy* [Prospects for optimisation of maintenance and repair using risk-informed decision-making at Ukrainian NPPs]. *Yaderna ta radiatsiina bezpeka* [Nuclear and Radiation Safety]. 2019, no. 1 (81). DOI: 10.32918/nrs.2019.1(81).02. (in Ukrainian).

8. Zhabin O.I., Pecherytsia O.V., Tarakanov S.O. and Shevchenko I.A. *Pidkhid do rehuliatornoj peredlitsenziinoj otsinky proiektu MMR inozemnoho postachalnika* [Approach to the regulatory pre-licensing assessment of a foreign supplier's SMR project]. *Yaderna ta radiatsiina bezpeka* [Nuclear and Radiation Safety]. 2020, no. 4 (88), pp. 4–13. DOI: 10.32918/nrs.2020.4(88).01. (in Ukrainian).

9. Balashevskaya Yu.V., Zhabin O.I., Pecherytsia O.V., Plachkov H.I., Ryzhov D.I. and Shevchenko I.A. *Zastosuvannya rezul'tativ roboty Forumu rehuliatoriv MMR u ramkakh litsenzuvannya proiektiv MMR v Ukraini* [Application of the results of the SMR Regulators Forum in the framework of licensing of SMR projects in Ukraine]. *Yaderna ta radiatsiina bezpeka*. [Nuclear and Radiation Safety]. 2020, no. 3 (87), pp. 4–12. DOI: 10.32918/nrs.2020.3(87).01. (in Ukrainian).

10. *Pro vykorystannia yadernoi enerhii ta radiatsiinu bezpeku : Zakon Ukrainy vid 08.02.1995* [On the use of nuclear energy and radiation safety : Law of Ukraine of 08.02.1995]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua> (date of application:

05.22.2024). (in Ukrainian).

11. State hygiene standards. Radiation safety standards of Ukraine (NRBU-97).

12. The Nuclear Safety Convention, IAEA, Doc. INFCIRC/449 of 5 July 1994; reproduced in 33 International Legal Materials. 1994, p. 1514.

13. Ageing Management for Nuclear Power Plants. Safety Guide. NS-G-2.12.

14. Ageing Management for Nuclear Power Plants: International Generic Aging Lessons Learned (IGALL) SRS 82.

15. *SOU NAEK 158:2020. Zabezpechennia tekhnichnoi bezpeky. Tekhnichni vymohy do vlashtuvannia ta bezpechnoi ekspluatatsii obladnannia i truboprovodiv atomnykh elektrychnykh stantsii z reaktoramy VVER* [SOU NAEK 158:2020. Ensuring technical safety. Technical requirements for the installation and safe operation of equipment and pipelines at nuclear power plants with VVER reactors]. (in Ukrainian).

16. *SOU NAEK 080:2023. Ekspluatatsiia tekhnolohichnoho kompleksu. Dovhostrokovna ekspluatatsiia diiuchykh enerhoblokiv atomnoi elektrostantsii. Zahalni polozhennia* [SOU NAEK 080:2023. Operation of the technological complex. Long-term operation of operating nuclear power units. General provisions]. (in Ukrainian).

17. *SOU NAEK 084:2015. Tekhnichne obsluhovuvannia ta remont. Stalevi vidlyvky dlia atomnykh enerhetychnykh ustanovok. Pravyly kontroliu* [SSU NNEG 084:2015 Maintenance and repair. Steel castings for nuclear power plants. Rules of control]. (in Ukrainian).

18. *NP 306.2.099-2004. Zahalni vymohy do prodovzhennia ekspluatatsii enerhoblokiv AES u ponadproektnyi strok za rezultatamy zdiisnennia periodychnoi pereotsinky bezpeky* [NP 306.2.099-2004. General Requirements for Extension of Operation of NPP Units Beyond Design Based on the Results of Periodic Safety Review]. (in Ukrainian).

19. Kravchenko R.O. and Pylypenko O.V. *Obstezhennia biolohichnoho zakhystu yaderno-enerhetychnykh ustanovok atomnykh stantsii v Ukraini* [Survey of biological protection of nuclear power facilities of nuclear power plants in Ukraine]. *Life safety in the 21st century : zb. tez dopov. XV Mizhvuz. stud. nauk.-prakt. konf.* [Life Safety in the 21st Century : XV Interuniversity Student Scientific and Practical Conference]. Dnipro, 11–12 April, 2019, pp. 8–10. (in Ukrainian).

Надійшла до редакції: 30.08.2024.

УДК 614.8:622.8

DOI: 10.30838/UJCEA.2312.301024.30.1089

ШЛЯХИ ВПЛИВУ ЕКОНОМІЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ОХОРОНИ ПРАЦІ З УРАХУВАННЯМ РИЗИК-ОРІЄНТОВАНОГО ПІДХОДУ

БЄЛІКОВ А. С.¹, *докт. техн. наук, проф.*,
РИБАЛКА К. А.^{2*}, *канд. техн. наук, доц.*,
ДЗЮБАН О. В.³, *канд. техн. наук, доц.*

¹ Кафедра охорони праці, цивільної та техногенної безпеки, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-34-73, e-mail: belikov@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-5822-9682

^{2*} Кафедра охорони праці, цивільної та техногенної безпеки, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (050) 905-51-42, e-mail: ekaterina.rybalka1980@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-7049-6871

³ Кафедра технології будівельного виробництва, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (098) 086-17-45, e-mail: dzyuban.oleksandr@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-6279-346X

Анотація. Постановка проблеми. Останніми роками стан безпеки й умов праці на виробничих об'єктах України залишається складним і небезпечним, особливо на підприємствах будівельної галузі (входить у десятку найбільш травмонебезпечних галузей), про що свідчать офіційні статистичні дані з виробничого травматизму, коли Україна живе в стані війни. Величезні суми з резервних державних фондів, Пенсійного фонду та самих власників підприємств витрачаються на ліквідацію наслідків промислових аварій, нещасних випадків, профзахворювань та допомоги потерпілим і сім'ям загиблих на виробництві. В Україні прийнято чимало законів, нормативно-правових актів з охорони праці, серед яких є ті, які відповідно до Угоди про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії та їхніми державами-членами, з іншої, в країні пройшли адаптацію законодавства України до законодавства Європейського союзу, в межах якого активно проводяться роботи щодо впровадження на рівні держави ризик-орієнтованого підходу в системі управління економічною безпекою та здоров'ям працівників, які є громадянами України та держав-членів Європейського союзу, за умови, що ці працівники є основним персоналом. Керівники підприємств (роботодавці) розуміють відповідальність за життя і здоров'я працівників, необхідність створення належних, безпечних і здорових умов праці, а також піклуються про економічний розвиток підприємства, незважаючи на високі ризики небезпек сьогодення. **Мета** – провести аналіз найбільш дієвих шляхів економічного впливу регулювання охорони праці з урахуванням ризик-орієнтованого підходу, зберігаючи економічний розвиток підприємства. **Висновок.** Аналіз найбільш дієвих шляхів економічного впливу регулювання охорони праці з урахуванням ризик-орієнтованого підходу свідчить, що в сучасних умовах розвитку підприємств нашої держави складно знайти універсальне рішення, яке б відповідало одночасно вимогам щодо бюджету фінансування заходів з охорони праці, швидкості та якості його реалізації, і одночасно зменшувало ризики у сфері охорони здоров'я і безпеки праці на робочих місцях. Тому складно передбачити, який із цих шляхів відіграє першорядну роль, а які припустимі, та як при цьому забезпечити працездатність усієї системи. Професійне, комплексне планування витрат у галузі охорони праці допоможе знайти ідеальний баланс між заходами, що вживаються, та їх економічною вигодою. Комплексність застосування декількох варіантів шляхів економічного регулювання охорони праці дозволить підприємству працювати безперебійно, безконфліктно та мати стійку роботу, що дозволить отримати економічне зростання, стратегію розвитку організації на найближче майбутнє, а також дозволить зменшити ризики у сфері охорони здоров'я і безпеки праці за допомогою проведення результативних запобіжних заходів.

Ключові слова: охорона праці; травматизм; ризик-орієнтований підхід; економічне регулювання

WAYS TO INFLUENCE THE ECONOMIC REGULATION OF LABOR PROTECTION, TAKING INTO ACCOUNT THE RISK-ORIENTED APPROACH

BIELIKOV A.S.¹, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,
RYBALKKA K.A.^{2*}, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*,
DZYUBAN O.V.³, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*

¹ Department of Labor Protection, Civil and Technogenic Safety, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Architect Oleh Petrov Str., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-73, e-mail: belikov@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-5822-9682

^{2*} Department of Labor Protection, Civil and Technogenic Safety, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Architect Oleh Petrov Str., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (050)-905-51-42, e-mail: ekaterina.rybalka1980@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-7049-6871

³ Department of Construction Technology, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Architect Oleh Petrov Str., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (098) 086-17-45, e-mail: dziuban.oleksandr@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-6279-346X

Abstract. Statement of the problem. In recent years, the state of safety and working conditions at Ukrainian production facilities has continued to be difficult and dangerous, especially at construction companies (one of the ten most injury-prone industries), as evidenced by official statistics on occupational injuries, while Ukraine is living in a state of war. Huge sums of money from the state reserve funds, the Pension Fund, and the owners of enterprises themselves are spent on eliminating the consequences of industrial accidents, accidents, occupational diseases, and on helping victims and families of those killed at work. Ukraine has adopted many laws and regulations on occupational health and safety, including those that, in accordance with the Association Agreement between Ukraine, on the one hand, and the European Union, the European Atomic Energy Community and their Member States, on the other hand, have adapted Ukrainian legislation to that of the European Union, within the framework of which work is actively underway to implement a risk-based approach at the state level in the system of managing the economic safety and health of employees who are citizens of Ukraine. Business leaders (employers) understand the responsibility for the life and health of employees, the need to create proper, safe and healthy working conditions, and care about the economic development of the business, despite the high risks of today's hazards. **Objective.** To analyze the most effective ways of economic impact of occupational health and safety regulation, taking into account the risk-oriented approach, while maintaining the economic development of the company. **Conclusion.** The analysis of the most effective ways of economic impact of occupational health and safety regulation, taking into account the risk-oriented approach, shows that in the current conditions of development of enterprises in our country, it is difficult to find a universal solution that would simultaneously meet the requirements for the budget for financing occupational health and safety measures, the speed and quality of its implementation, and at the same time reduce risks in the field of occupational health and safety at workplaces. Therefore, it is difficult to predict which of these ways plays a primary role and which are acceptable, and how to ensure the efficiency of the entire system. Professional, comprehensive occupational health and safety cost planning will help to find the perfect balance between the measures taken and their economic benefits. The complexity of applying several options for economic regulation of occupational health and safety will allow the company to operate smoothly, without conflicts and have a sustainable operation, which will allow for economic growth, the organization's development strategy for the near future, and will also reduce risks in the field of occupational health and safety by taking effective preventive measures.

Keywords: labor protection; traumatism; risk-oriented approach; economic regulation

Постановка проблеми. Останніми роками стан безпеки й умов праці на виробничих об'єктах України залишається складним і небезпечним, особливо на підприємствах будівельної галузі (входить у десятку найбільш травмонебезпечних галузей), про що свідчать офіційні статистичні дані з виробничого травматизму, коли Україна живе в стані війни (рис. 1). За даними Державної служби з питань праці, із січня по травень 2024 року сталося 415 нещасних випадків, пов'язаних із виробництвом. Під час нещасних випадків травмовано 686 осіб, зокрема 175 – смертельно. Сталося 102 групові нещасні випадки, під час яких травмовано 372 особи, зокрема 66 – смертельно. [1]

Нещасні випадки, що спричинили травми з тяжкими наслідками або смерть, не тільки підбивають економічну безпеку підприємств, на яких ці випадки сталися, а й завдають шкоди державі в цілому. Це пов'язано з впливом шкідливих і небезпечних виробничих чинників на працівників підприємств, і на виконання посадових та професійних обов'язків в умовах, коли є прильоти на територію діючого підприємства, що призводить до вибухів, пожеж, поранень осколками частин будівлі, ракет тощо, особливо на прифронтових, тимчасово окупованих та деокупованих територіях України (рис. 2).



Рис. 1. Питома вага нещасних випадків на виробництві зі смертельним наслідком за видами діяльності України станом на травень 2024 року

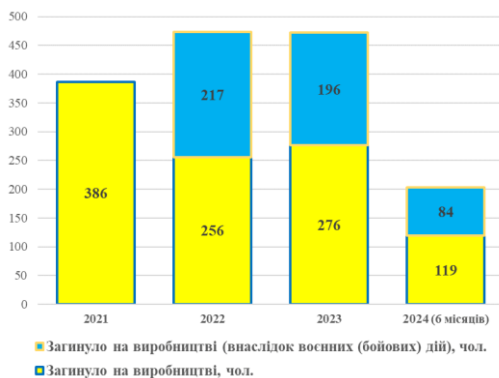


Рис. 2. Кількість нещасних випадків зі смертельним наслідком, пов'язаних із виробництвом в Україні з 2021 по червень 2024 року

Крім людських втрат, зазнає великих збитків і економіка країни. Величезні суми з резервних державних фондів, Пенсійного фонду та самих власників підприємств витрачаються на ліквідацію наслідків промислових аварій, нещасних випадків, профзахворювань та на допомогу потерпілим і сім'ям загиблих на виробництві. Економічні втрати України від техногенних аварій складають 60 млн грн, а витрати на компенсацію втраченого життя

та здоров'я потерпілим – 400 млн грн щорічно. Отже, країна зазнає значних економічних збитків від загибелі працівників підприємства, а також втрачає людський потенціал [2].

Керівники підприємств (роботодавці) розуміють відповідальність за життя і здоров'я працівників, необхідність створення належних, безпечних і здорових умов праці, а також піклуються про економічний розвиток підприємства, незважаючи на високі ризики небезпек сьогодення.

Аналіз публікацій. Проблемою щодо безпечних умов праці через удосконалення охорони праці як фактора підвищення ефективності промислового виробництва займалися Г. Г. Гогіташвілі, А. С. Беліков, О. І. Амоша, Г. С. Калда, В. С. Джигирей, В. Ц. Жидецький, М. О. Халімовський, А. М. Кутиркін, Л. П. Керб, Л. М. Логачова, Н. Д. Лук'янченко, О. В. Мартякова, І. М. Миценко, О. Ф. Новикова, К. Н. Ткачук, С. П. Ткачук, Л. В. Шаульська, В. Г. Шульга та ін. [3].

В Україні прийнято чимало законів, нормативно-правових актів з охорони праці, серед яких є ті, які відповідно до Угоди про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії та їхніми державами-членами, з іншої [6], в країні пройшли адаптацію законодавства України до законодавства Європейського союзу, в межах якого активно проводяться роботи щодо впровадження на рівні держави ризик-орієнтованого підходу в системі управління економічною безпекою та здоров'ям працівників, які є громадянами України та держав-членів Європейського союзу, за умови, що ці працівники є основним персоналом.

Основа економічної безпеки для підприємств будівельної галузі України полягає в регулярному і системному підході до управління охороною праці та мінімізації виробничих ризиків, запобіганні виробничим травмам і погіршенню стану здоров'я працюючих.

Безсистемне впровадження заходів з охорони праці на підприємствах не приносить істотних позитивних результатів та не передбачає зацікавленості підприємств у збільшенні витрат на поліпшення умов праці на робочих місцях [4]. Тому проблема регулювання визначення витрат на охорону праці була і залишається завжди актуальною, адже незадовільний стан охорони праці на підприємствах України спричинює гальмування економічного розвитку через значні втрати як на рівні підприємства, так і на рівні держави в цілому.

Мета статті – провести аналіз найбільш дієвих шляхів впливу економічного регулювання охорони праці з урахуванням ризик-орієнтованого підходу, зберігаючи економічний розвиток підприємства.

Виклад матеріалу. У межах фінансування витрат на заходи та засоби охорони праці важливо порівняти економічну ефективність заходів з обсягом грошових вкладень у той чи інший процес. При цьому важливо враховувати складові айсберга витрат з охорони праці (теорія айсберга Х. В. Хайнріха) та намагатися розраховувати не тільки прямі витрати (придбання сучасного інструменту, обладнання, технічний огляд, ремонт та модернізацію існуючого; навчання з питань охорони праці та підвищення кваліфікації за професією; атестація робочих місць за умовами праці; медичний огляд робітників; придбання засобів індивідуального захисту та інші заходи, пов'язані з охороною праці), а й непрямі невидимі витрати, пов'язані з настанням нещасних випадків на підприємстві (штрафи, ремонт обладнання, навчання нового робітника, і як наслідок, зниження продуктивності праці, втрата робочого часу персоналу тощо), які можуть нести робітники та підприємстві в результаті недоцільно впроваджених заходів.

Слід зазначити, що сьогодні велику роль в економічному розвитку підприємства відіграє його позитивна репутація (практично неконтрольовані витрати, пов'язані з репутаційними наслідками

ризиків для підприємства), яка досягається високим рівнем культури безпеки, позитивним психологічним кліматом у колективі, фінансуванням заходів з охорони праці тощо.

Розглянемо найбільш дієві шляхи економічного впливу регулювання охорони праці з урахуванням ризик-орієнтованого підходу.

1. Команда охорони праці та її розвиток. Під командою охорони праці розуміємо наявність не лише безпосередньо самих спеціалістів (начальника відділу охорони праці, інженера з охорони праці тощо), а й осіб, які відповідають у рамках охорони праці та виробничої безпеки (посадові особи, які безпосередньо пов'язані з організацією безпечного ведення робіт).

Працюючи з командою, важливо враховувати навантаження на співробітників щодо специфіки виконуваних ними завдань, ретельно аналізувати та зіставляти рівень розвитку співробітника з рівнем вагомості процесу, який він веде. Залежно від професійного розвитку спеціаліста з охорони праці важливо розділяти рутинні обов'язки та завдання розроблення процесів управління охороною праці в рамках усього підприємства. Також важливо заздалегідь передбачати шлях розвитку фахівця, оскільки є велика різниця, фахівець зростатиме «вгору» як майбутній керівник або поглиблюватиме свої компетенції як спеціаліст вузького або широкого профілю.

Такий варіант впливу економічного регулювання охорони праці полягає у підборі команди з професіоналів ще на стадії прийняття на роботу. Проводячи співбесіду на підприємстві, слід не просто проводити оцінювати професійні навички, а й з'ясовувати, в якому напрямку хоче рухатися цей фахівець – виконувати рутинні функції, розвиватися професійно, або додатково займатися питаннями автоматизації, оптимізації процесів усієї команди, включаючи керівний склад та посадових осіб підприємства, і найчастіше розвиток одного талановитого спеціаліста з охорони праці вигідніший, ніж найм двох-

трех фахівців, які виконуватимуть рутинні обов'язки.

2. Інвестиції. Як правило, інвестиції в охорону праці закладаються до бюджету підприємства в кінці поточного року на майбутній та вимагають обґрунтування з боку спеціаліста з охорони праці: як поліпшення умов праці знизить рівень професійних ризиків та вплине на загальну продуктивність праці. Роблячи інвестиції в інноваційні рішення, насамперед слід враховувати потреби виробництва. Без урахування подальших планів зростання або зміни виробничих процесів, пропозиції щодо впровадження будь-яких інновацій з безпеки можуть не поєднуватись з тими рішеннями, які закладені у розвиток компанії.

Наприклад, додаткове навчання робітників підприємства, які працюють віддалено від основного офісу (підрядні роботи з виконання будівельно-монтажних робіт, налагодження обладнання тощо, де працює бригада або взагалі один робітник без супроводу) своєчасного надання домедичної допомоги (тактична медицина).

Це пов'язано з тим, що роботи виконуються в умовах воєнного часу (прильоти, обстріли, обрушення тощо), що може призвести до нещасних випадків із тяжкими травмами або до смерті. Економічне регулювання охорони праці шляхом інвестування в навчання полягає в збереженні життя, здоров'я і працездатності людини у процесі трудової діяльності, що підвищує рівень продуктивності праці, поліпшує психологічний клімат у колективі, при цьому зберігається мета підприємства – економічний розвиток, позитивна репутація тощо.

3. Автоматизація. Автоматизація процесів та впровадження цифрових рішень часто допомагає значно знизити витрати за рахунок унеможливлення великого обсягу ручної праці. Для максимальної ефективності такого рішення важливо виростити у команді проектного менеджера, який контролюватиме розвиток системи автоматизації з урахуванням фокуса професійної підготовки в галузі охорони

праці. Такий варіант матиме економічний ефект, коли обрані цифрові рішення будуть сумісні з видом діяльності підприємства.

Трапляються випадки, коли, купуючи цифрове рішення, підприємство не враховує платформи, на яких вона працює, але багато рішень не сумісні між собою. Тому потрібні великі трудові та тимчасові ресурси на передачу бази даних між системами вручну. Отож, слід детально продумати та прописати технічне завдання з урахуванням внутрішніх процесів та ресурсів, щоб виробник цифрового рішення міг заздалегідь адаптувати продукт безпосередньо до потреб підприємства.

4. Консалтинг. Багато підприємств вдаються до консалтингових рішень в охороні праці та повністю передають їм відповідальність із питань організації та проведення спеціальної оцінки умов праці, впровадження ризик-орієнтованого підходу, розслідування нещасних випадків на виробництві, навчання персоналу в сфері охорони праці та промислової безпеки, забезпечення підрозділів локальними нормативними правовими актами тощо.

За грамотного підходу такий захід дозволяє оптимізувати роботу працівників та більш ефективно вибудувати в організації систему промислової безпеки. Переходячи на консалтинг в охороні праці, важливо передбачити наявність співробітника, який буде взаємодіяти з консалтинговим підприємством, передавати йому необхідні дані та стежити за виконанням роботи.

Незважаючи на те, що ресурси, які витрачаються, при цьому будуть значно меншими, їх слід визначити на самому початку планування переходу на консалтинг.

Висновки

Аналіз найбільш дієвих шляхів економічного впливу регулювання охорони праці з урахуванням ризик-орієнтованого підходу свідчить, що в сучасних умовах розвитку підприємств нашої держави складно знайти універсальне рішення, яке б відповідало одночасно вимогам щодо бюджету фінансування заходів з охорони

праці, швидкості та якості їх реалізації й одночасно зменшувало ризики у сфері охорони здоров'я і безпеки праці на робочих місцях. Тому складно передбачити, який із цих шляхів відіграє першорядну роль, а які припустимі, та як при цьому забезпечити працездатність усієї системи.

Професійне, комплексне планування витрат у галузі охорони праці допоможе знайти ідеальний баланс між заходами, що вживаються, та їх економічною вигодою.

Комплексність застосування декількох варіантів шляхів економічного регулювання охорони праці дозволить підприємству працювати безперебійно, безконфліктно та мати стійку роботу.

Це дозволить отримати економічне зростання, стратегію розвитку організації на найближче майбутнє, а також зменшити ризики у сфері охорони здоров'я і безпеки праці за допомогою проведення результативних запобіжних заходів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Стан виробничого травматизму в Україні. URL: <https://dsp.gov.ua/stan-vyrobnychoho-travmatyzmu/>
2. Сердюк В. Р., Мимрик Л. В. Соціально-економічні аспекти охорони праці. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2009. № 5. С. 55–59.
3. Цюгла О. О. Економічні методи управління охороною праці на промисловому підприємстві. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Проблеми економіки та управління*. 2016. № 847. С. 178–182.
4. Ронська О. Г. Теоретичні аспекти аналізу витрат на охорону праці на підприємствах вугільної промисловості. *Соціально-економічні трансформації в умовах глобалізації: світовий та вітчизняні виміри : матер. Міжнар. наук.-практ. конф. Херсон : Видавничий дім «Гельветика», 2013. С. 182–183.*
5. Закон України «Про охорону праці» від 14 жовтня 1992 року № 2694-XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text>
6. Угода про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони від 30.11.2023 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_011#Text
7. ДСТУ ISO 45001:2019. Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці. Вимоги та настанови щодо застосування (ISO 45001:2018, IDT). URL: <https://zakon.isu.net.ua>

REFERENCES

1. Stan vyrobnychoho travmatyzmu v Ukrayini [The state of occupational injuries in Ukraine]. URL: <https://dsp.gov.ua/stan-vyrobnychoho-travmatyzmu/> (in Ukrainian).
2. Serdyuk V.R. and Mimrik L.V. *Sotsial'no-ekonomichni aspekty okhorony pratsi* [Social and economic aspects of labor protection]. *Visnyk Vinnyts'koho politekhnichnoho instytutu* [Bulletin of Vinnytsia Polytechnic Institute]. 2009, no. 5, pp. 55–59. (in Ukrainian).
3. Tsogla O.O. *Ekonomichni metody upravlinnya okhoronoyu pratsi na promyslovomu pidpryyemstvi* [Economic methods of labor protection management at an industrial organization]. *Visnyk Natsional'noho universytetu "Lviv's'ka politekhnika". Problemy ekonomiky ta upravlinnya* [Bulletin of Lviv Polytechnic National University. Problems of Economics and Management]. 2016, no. 847, pp. 178–182. (in Ukrainian).
4. Ronskaya O.G. *Teoretychni aspekty analizu vytrat na okhoronu pratsi na pidpryyemstvakh vuhil'noyi promyslovosti* [Theoretical aspects of the analysis of labor protection costs at coal industry enterprises]. *Sotsial'no-ekonomichni transformatsiyi v umovakh hlobalizatsiyi: svitovyy ta vitchyznyani vymiry : materialy Mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi* [Socio-economic Transformations in the Context of Globalization : Global and National Dimensions : Proceedings of the International Scientific and Practical Conference]. Kherson : Helvetica Publishing House Publ., 2013, pp. 182–183. (in Ukrainian).
5. *Zakon Ukrayiny "Pro okhoronu pratsi" vid 14 zhovtnya 1992 roku № 2694-XII* [Law of Ukraine "On Labor Protection" on October 14, 1992 no. 2694-XII]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text> (in Ukrainian).
6. *Uhoda pro asotsiatsiyu mizh Ukrayinoyu, z odniyeyi storony, ta Yevropeys'kym Soyuzom, Yevropeys'kym spivtovarystvom z atomnoyi enerhiyi i yikhnimy derzhavamy-chlenamy, z inshoyi storony vid 30.11.2023 r.* [An association agreement between Ukraine, on the one hand, and the European Union, the European Atomic Energy Community and their Member States, on the other hand on November 30, 2023]. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_011#Text (in Ukrainian).
7. *DSTU ISO 45001:2019. Systemy upravlinnya okhoronoyu zdorov'ya ta bezpekoyu pratsi. Vymohy ta nastanovy shchodo zastosuвання (ISO 45001:2018, IDT)* [DSTU ISO 45001:2019. Occupational health and safety management systems. Requirements and guidelines (ISO 45001:2018, IDT)]. URL: <https://zakon.isu.net.ua> (in Ukrainian).

Надійшла до редакції: 03.09.2024.

УДК 628.98+613.165

DOI: 10.30838/UJCEA.2312.301024.36.1090

ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕГРАЛЬНОГО РИЗИК-ОРІЄНТОВАНОГО ПІДХОДУ ДО ВПРОВАДЖЕННЯ КОМПЛЕКСНОЇ ОЦІНКИ ВІЗУАЛЬНОГО СЕРЕДОВИЩА

БЕЛІКОВ А. С.¹, докт. техн. наук, проф.,

ПОДКОПАЄВ С. В.², докт. техн. наук, проф.,

ЖУРБЕНКО В. М.^{3*}, асп.,

НАЖА П. М.⁴, канд. техн. наук, доц.,

РАГІМОВ С. Ю.⁵, канд. техн. наук, доц.

¹ Кафедра охорони праці, цивільної та техногенної безпеки, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-34-73, e-mail: belikov@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-5822-9682

² Донецький національний технічний університет, вул. Потебні, 56, 43003, Луцьк, Україна, e-mail: sci_vice_rect@donntu.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-3258-9601

^{3*} Кафедра охорони праці, цивільної та техногенної безпеки, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (050) 362-40-52, e-mail: zurbenko.valeriia@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-9607-8205

⁴ Кафедра основ та фундаментів, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, e-mail: nazha.pavlo@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-5852-0226

⁵ Кафедра організації та технічного забезпечення аварійно-рятувальних робіт, Національний університет цивільного захисту України, вул. Чернишевська, 94, 61023, Харків, Україна, тел. +38 (057) 370-50-52, e-mail: sergragimov@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-8639-3348

Анотація. Постановка проблеми. Аналіз літературних джерел та проведені дослідження дозволяють встановити закономірності впливу світла на рівень потенційної небезпеки робочого середовища. Нестача або неправильний розподіл світла знижує продуктивність праці, викликає втоми очей, провокує захворювання зору, підвищує рівень травматизму. **Мета роботи** – теоретичне обґрунтування впровадження інтегрального підходу до комплексної оцінки ризиків негативного впливу світлового середовища з урахуванням закордонного досвіду. Завдання дослідження: за допомогою методик обчислення потенційного ризику більш повно оцінити безпеку праці, дію на функціональний стан працівників факторів візуального середовища. Виконання робіт високої зорової складності зумовлює підвищений ризик виникнення професійних захворювань та травмування, в тому числі під час виконання робіт підвищеної небезпеки. Неналежна якість світлового середовища не тільки знижує працездатність, а й може спричинити травмування працівників та аварійну ситуацію на підприємстві. Оскільки працівники підприємств підпадають під багатофакторний вплив шкідливих факторів візуального середовища, таких як: знижена контрастність фону та об'єкта розрізнення, прямий та віддзеркалений відблиск, мерехтливості світла та інші, – такий підхід значно спрощує оцінювання ступеня реального професійного і виробничого ризику для конкретного робочого місця. **Результати дослідження** показують більшу ефективність застосування інтегрального ризик-орієнтованого підходу порівняно з традиційними методами оцінювання завдяки можливості більш точно врахувати багатофакторний вплив світлового середовища, що не передбачається діючими нормами оцінювання якості світлового середовища виробничих приміщень. **Вперше** запропоновано застосування інтегрального ризик-орієнтованого підходу для комплексної оцінки світлового середовища у робочих приміщеннях, де проводяться зорові роботи високої складності, які оцінюються як роботи підвищеної небезпеки. **Практична значимість.** Запропонована методика може бути застосована для оцінювання виробничого ризику на робочих місцях широкої сфери професій. У першу чергу рекомендується впровадити її для оцінювання візуального середовища приміщень, де планується виконання робіт високої зорової складності.

Ключові слова: світлове середовище; ризик-орієнтований підхід; роботи високої зорової складності; порушення фізіології

INTEGRAL RISK ORIENTED APPROACH IN THE IMPLEMENTATION OF A COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF VISUAL ENVIRONMENT

BIELIKOV A.S.¹, Dr. Sc. (Tech.), Prof.,
PODKOPAIEV S.V.², Dr. Sc. (Tech.), Prof.,
ZHURBENKO V.M.^{3*}, Postgrad. Stud.,
NAZHA P.M.⁴, Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.,
RAGIMOV S.Yu.⁵, Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.

¹ Department of Labor Protection, Civil and Technogenic Safety, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Architect Oleh Petrov Str., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-73, e-mail: belikov@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-5822-9682

² Donetsk National Technical University, 56, Potebni St., Luts'k, 43003, Ukraine, e-mail: sci_vice_rect@donntu.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-3258-9601

^{3*} Department of Labor Protection, Civil and Technogenic Safety, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Architect Oleh Petrov Str., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (050) 362-40-52, e-mail: zurbenko.valeriia@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-9607-8205

⁴ Department of Basements and Foundations, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Architect Oleh Petrov Str., Dnipro, 49005, Ukraine, e-mail: nazha.pavlo@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-5852-0226

⁵ Department of Management and Technical Support of Rescue Operations, Ukrainian National University of Civil Defence, 94, Chernyshevska Str., Charkiv, 61023, Ukraine, tel. +38 (057) 370-50-52, e-mail: sergragimov@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-8639-3348

Abstract. Problem statement. The analysis of literary sources and the conducted research allow us to establish patterns of influence of the global environment on the level of potential danger of the working environment. An improper distribution of light reduces work productivity, causes eye fatigue, provokes eye diseases, and increases the level of injuries. **The purpose of the work** is the theoretical justification of the implementation of an integrated approach to the comprehensive assessment of the risks of the negative impact of the light environment, taking into account foreign experience. The task of the research: to more fully assess occupational safety, the effect of visual environment factors on the functional state of workers using the methods of calculating potential risk. Performing work of high visual complexity leads to an increased risk of occupational diseases and injuries, including when performing work of increased danger. Performing work of high visual complexity leads to an increased risk of occupational diseases and injuries, including when performing work of increased danger. Inadequate quality of the lighting environment not only reduces productivity, but can also lead to employee injuries and an emergency situation at the enterprise. Since employees of enterprises are exposed to the multifactorial influence of harmful factors of the visual environment, such as: reduced contrast of the background and the distinguishing object, direct and reflected glare, flickering of light, and others, this approach greatly simplifies the assessment of the degree of real professional and industrial risk for a specific workplace. **Research results** show the greater effectiveness of the application of the integrated risk-oriented approach compared to traditional assessment methods due to the ability to more accurately take into account the multifactorial influence of the light environment, which is not foreseen by the current standards for assessing the quality of the light environment of industrial premises. For the first time, the application of an integrated risk-oriented approach is proposed for the comprehensive assessment of the light environment in workplaces where visual work of high complexity, which is assessed as work of increased danger, is carried out. **For the first time**, the application of an integral risk-oriented approach is proposed for the comprehensive assessment of the light environment in workplaces where visual work of high complexity is carried out, which is assessed as work of increased danger. **Practical significance.** The proposed technique can be applied in the assessment of industrial risk at workplaces of a wide range of professions. First of all, it is recommended to implement it when assessing the visual environment of the premises, where it is planned to perform works of high visual complexity.

Keywords: light environment; risk oriented approach; high visual complexity works; physiological disorders

Вступ. Одним із найважливіших факторів підвищення безпеки під час виконання технологічних процесів у будівлях і спорудах постає фактор візуального середовища. У сучасній будівельній галузі, а також в інших

наукомістких виробництвах головною тенденцією стає впровадження більш економічних систем освітлення, за рахунок використання LED-світильників і регулювання сили освітлення та можливості програмувати сценарії використання груп

світильників відповідно до робочих змін та часу доби. Працездатність та загальне самопочуття робітників прямо залежить від умов середовища і може знижуватись через невідповідність оптимальних параметрів шуму (до 20 %), вібрації (до 11 %), недостатньої освітленості (до 20 %), метеорологічних умов (до 15–20 %), інтенсивного теплового опромінення тощо [2; 3; 8; 9].

Підвищений ступінь ризику виникнення професійних хвороб у працівників, що

виконують роботи високої зорової складності (згідно з класифікатором, наведеним в [1]), означає, що такі роботи належать до категорії робіт підвищеної небезпеки. Досліджуючи умови праці на підприємствах України, згідно з [1; 2], ми визначили професії зі спорідненими умовами праці за критерієм характеристики зорової роботи (див. табл.).

Таблиця

Аналіз умов праці споріднених професій

№ п/п	Професії працівників за класифікатором	Складність зорової роботи (розряд)
1	Макетник художніх макетів, Оператор комп'ютерної верстки, Головний дизайнер, Біохімік, Виробник штампів, Головний дизайнер (художник-конструктор) проекту, Мікробіолог, Реставратор архівних та бібліотечних матеріалів, Реставратор тканин, gobеленів та килимів, Ювелір-гравер, Кресляр	A-1
2	Архітектор, Археолог, Аудитор інформаційних технологій (з кібербезпеки), Викладач закладу вищої освіти, Адміністратор системи, Адміністратор мереж і систем, Ботанік, Вихователь-методист, Оператор електронно-обчислювальних та обчислювальних машин,	A-2
3	Головний програміст, Оператор диспетчерської служби, Програміст системний, Професіонал з експлуатації електричних станцій, енергетичних установок та мереж, Професіонал з економічної кібернетики, Аналітик (банківська діяльність), Вірусолог, Переписувач нот, Медична сестра	Б-1
4	Верстатник спеціальних деревообробних верстатів, Вимірювач електрофізичних параметрів, Вишивальник на шкірі та хутрі, Автоматник в'язальних автоматів, Бібліотекар, Гідрохімік, Менеджер (управитель) систем з інформаційної безпеки, Оператор дистанційно керованих апаратів, Оператор копіювальних та розмножувальних машин, Оператор служби «102», Офісний службовець, Перекладач, Підбирач довідкового та інформаційного матеріалу, Секретар-Друкарка, Контролер-Касир, офісний службовець, Бухгалтери та касири-експерти, Оператор поста керування	Б-2

В Україні досі застосовуються застарілі підходи до оцінювання безпеки дії візуального середовища робочого простору на робітників та відвідувачів.

За даними Міжнародного агентства з профілактики сліпоти на 2020 р., в усьому світі близько 285 млн людей страждають від порушень зору, з яких 39 млн вражені сліпотою. Близько 90 % людей з порушеннями зору живуть у країнах із низьким доходом. За оцінками експертів, 82 % незрячих входять у вікову групу 50 років і старше.

Обґрунтування методики дослідження. Згідно з оцінками гігієністів, невідповідність умов світлового середовища

фізіологічним та психологічним нормам спричинює:

- підвищення ризику травм на робочому місці через неправильну візуальну оцінку стану системи робітниками (падіння, пошкодження частинами машин, що рухаються, тощо);

- зростання ризику розвитку набутих хвороб ока (атрофії зорового нерва, зорового ністагма, міопії, мігрень), особливо у робітників, старших 50 років;

- зростання кількості захворювань опорно-рухового апарату внаслідок порушення фізіологічно правильної пози під час роботи;

- зростання кількості захворювань нервової системи та втрат мобільності та працездатності, які спричиняються довготривалим перенапруженням;

- порушення фізіологічної діяльності організму внаслідок підвищення рівня напруженості праці та необхідності постійно додатково зосереджувати увагу.

Отже, неналежна якість світлового середовища не тільки знижує працеспроможність, а й може спричинити травмування працівників та аварійну ситуацію на підприємстві. Наразі оцінювання виробничого травматизму та професійних захворювань, викликаних неналежною якістю світлового середовища, здійснюється за декількома різними за своєю фізичною природою показниками [4]: сила світла, яскравість поверхонь, сукупний показник зорового дискомфорту, прямий та віддзеркалений відблиск, колірна передача, мерехтливість штучного світла тощо, – які не створюють єдиної, цілісної картини про стан умов праці за критеріями якості візуального середовища. Однак досі цьому фактору не приділяється достатньо уваги у процесі модернізації виробництв та проектування нових робочих приміщень.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Світлове середовище в будівлі визначається як фізичними характеристиками самого приміщення та будівлі, у якій воно розташоване (широта, орієнтація фасаду, відстань до інших будівель, висотність, конфігурація фасаду, площа та оздоблення світлових прорізів), так і обраною системою освітлювальної установки (джерела світла, світлові прилади, пускорегулювальна апаратура й електричні пристрої, що забезпечують розподіл світлової енергії по приміщенню) та оздобленням приміщення (матеріали поверхонь, їх конфігурація, взаємна контрастність, площа та блискість, кількість світла, яке вони відбивають, тощо).

Це визначає необхідність вивчення процесів проектування світлового середовища робочих приміщень з точки зору взаємодії у людини як складної біологічної системи у вигляді «сукупності

функціонально зв'язаних тканин, органів, їх частин і процесів, об'єднаних у ціле для досягнення біологічно значимого результату» [7].

Відповідно до такого визначення людський організм – це біологічна система вищого порядку, яка включає у себе ряд біологічних систем, що взаємодіють та взаємовпливають певним чином. У процесі сприйняття світлового стимулу спостерігачем первинною системою прийняття інформації стає зоровий аналізатор, який сам по собі є досить складним органом, всі характеристики якого «не тільки взаємозалежні одна від одної, а і складним чином залежать від стану всіх інших систем людського організму, від віку, слухових подразнень, часу доби...» [14].

Тому дослідження, пов'язані з дією зовнішніх факторів на зоровий аналізатор, особливо у зв'язку з роботою інших систем людського організму, віднесено до класу складних. Це визначає неможливість вичленовування якоїсь однієї окремої системи або органа із загальної системи й ізолювання її від суміжних систем і процесів, що відбуваються у них. Урахування таких факторів робить результати дослідження систем освітлення найбільш достовірними.

Впровадження ризик-орієнтованого підходу у процес дослідження умов світлового середовища приміщень, де виконуються роботи високої зорової складності, потребує врахування дії не тільки передбачених нормами потенційно небезпечних факторів, а й комплексного урахування факторів візуального середовища, для більш точного оцінення заходів, що дозволяють підвищити безпеку виробничого середовища для робітників та відвідувачів. Найбільша група ризику – це професії, пов'язані з виконанням зорових робіт високої складності.

Із цього випливає необхідність розроблення моделі, яка б урахувала кількісний вплив кольору і світла на всі системи людського організму, для забезпечення необхідної вірогідності результатів дослідження.

Мета та завдання дослідження. Мета роботи – теоретичне обґрунтування впровадження інтегрального підходу у комплексну оцінку ризиків негативного впливу світлового середовища з урахуванням закордонного досвіду.

Завдання дослідження: за допомогою методик обчислення потенційного ризику більш повно оцінити безпеку праці, дію на функціональний стан працівників факторів візуального середовища. Пропонується оцінити ризик негативної дії факторів світлового середовища на фізіологічний та психологічний стан людей, що в ньому перебувають та, через особливості трудової діяльності, піддаються підвищеним навантаженням на зоровий аналізатор та пов'язані з ним системи організму.

Матеріали та методи дослідження. Порівняльний аналіз науково-технічної літератури та нормативно-правової бази України та країн Євросоюзу показує, що закордонні дослідження [6; 17] значно розширюють поняття світлового середовища та критеріїв його комфортності для людини. Мірою якості освітлення виступає показник ергономічності освітлення ELI (Ergonomic Lighting Indicator), який складається з таких основних груп критеріїв (за пріоритетністю):

- зорова робота (рівень освітленості; рівномірність освітленості; якість кольоропередавання передавання контрасту; обмеження на світловідбивання;
- сприйняття сцени (залежить від фізичної конфігурації та архітектурного рішення приміщення та будівлі, у якій воно розташоване);
- контроль блискавості (UGR) (Unified Glare Rating); розподіл яскравості; обмеження пульсацій; природне освітлення;
- зоровий комфорт (рівень блискавості UGR – (Unified Glare Rating); розподіл яскравості; обмеження пульсації, природне освітлення;
- життєдіяльність: самопочуття; активність; біологічні процеси, безпечність;

- додаткові можливості (індивідуальна або автоматизована система керування освітлювальною установкою).

Для подальшого з'ясування характеру зв'язків між рівнями впливу факторів виробничого середовища для оцінення умов та характеру праці на робочих місцях працівників застосовано кореляційний аналіз.

Розроблення методики оцінення впливу факторів світлового середовища на безпеку. Враховуючи велику кількість складових впливу світлового середовища на системи зорового аналізатора людини, а також необхідність розширити кількість критеріїв світлового середовища, що використовуються для оцінення параметрів робочої зони на основі розрахунку потенційного ризику під час виконання робіт високої складності, пропонується обчислення інтегрального показника комплексної дії на функціональний стан, працездатність та безпеку праці робітників, що виконують зорові роботи високої складності.

Урахування такого інтегрального показника дозволить врахувати взаємний вплив найвизначніших факторів та провести ефективно оцінення їх значень у будь-якій точці робочого приміщення.

Дослідження впливу візуальних параметрів візуального середовища на величину інтегрального ризику. Комплексний аналіз впливу візуальних параметрів візуального середовища під час виконання зорових робіт високої складності здійснюється за допомогою визначення рівня небезпеки для працівників. Для цього функція ризику оцінки $\delta(x)$ для параметра θ , обчислюється за певних чинників світлового середовища x , як математичне очікування функції втрат $L(\theta, \delta(x))$:

$$R(\theta) = \int L(\theta, \delta(x)) \cdot f(x|\theta) dx, \quad (1)$$

де $L(\theta, \delta(x))$ – функція втрат від параметра оцінки θ і значення оцінки $\delta(x)$; $f(x|\theta)$ – ймовірність небажаної події.

Для функції втрат $L(\theta, \delta(x))$ приймають деяку вартісну міру одиниці ризику, яка характеризує наслідки якоїсь події.

Наприклад, із погляду роботодавця вартісна міра ризику прийматиметься такою, що дорівнює розміру п'ятирічного заробітку працівника, згідно із законодавством. Установлення подібної вартісної оцінки може бути доречним і для інших рівнів тяжкості небажаних подій.

Відповідно до закону Вебера–Фехнера, в загальному випадку має місце існування деякої функціональної залежності між рівнем концентрації шкідливого фактора, відчуттям і ризиком:

$$r = \frac{1}{k} \times \lg \frac{C}{C_0}, \quad (2)$$

де r – рівень ризику; C – рівень інтенсивності шкідливого фактора в певній точці робочого простору; k – коефіцієнт пропорційності, що буде потребувати уточнення і корегування, залежно від прийнятих норм та експериментальних даних; C_0 – найменша інтенсивність, за якої дія шкідливого фактора стає відчутною.

Якщо ж значення фактора матиме значення менше за прийняте нормативне, то, відповідно, величину ризику можна розрахувати із припущенням, що зміна його величини від значення фактора є лінійною [13]:

$$r_i = \alpha \times F, \quad (3)$$

де $\alpha = 10^{-6}/\Gamma\text{ДР}$; F – величина фактора $F < \Gamma\text{ДР}$.

Сумарний ризик надалі передбачається розраховувати в такій послідовності: за розрахунками значення річного ризику по кожному з факторів впливу r_i обчислюється величина інтегрального ризику:

$$R = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - r_i). \quad (4)$$

Обговорення результатів. Наведена вище методика інтегральної оцінки ризику дозволяє оцінити сумарний ступінь ризику виникнення травмонебезпечних ситуацій або потенційної небезпеки розвитку набутих хвороб у групи ризику – працівників, що виконують зорові роботи підвищеної складності. Це стає кроком до отримання єдиного підходу до розрахунку оцінки параметрів робочої зони, який не потребує введення множини шкал для характеристики якості середовища.

Аналіз науково-технічної літератури та нормативно-правової бази з охорони праці показав, що працівники підприємств підпадають під багатофакторний вплив шкідливих чинників, і впровадження інтегрального підходу до оцінки ризиків негативного впливу світлового середовища на соматичний та психофізіологічний стан людей, що в ньому перебувають, значно спрощує оцінювання ступеня реального професійного і виробничого ризику шкідливого впливу візуальних факторів для конкретного робочого місця [2; 8; 12].

Перевагою застосування запропонованого підходу бачиться можливість проводити оцінювання значень потенційного виробничого ризику за будь-якої кількості шкідливих і небезпечних факторів на робочих місцях, до яких належать і численні візуальні чинники.

Недолік запропонованого підходу полягає у неповноті визначення коефіцієнтів пропорційності для деяких чинників світлового середовища, для яких потребуватиметься уточнення і корегування, залежно від прийнятих норм та експериментальних даних. Заплановано подальші дослідження у цьому напрямку.

Висновки.

1. На основі проведених досліджень вперше запропоновано методику комплексного оцінювання впливу світлового середовища на рівень потенційної небезпеки робочого середовища. Методика, у першу чергу, має впроваджуватись для оцінювання візуального середовища приміщень, де планується виконання робіт високої зорової складності, які належать до робіт підвищеної небезпеки. Запропонований метод, на відміну від традиційної окремої оцінки шкідливих факторів візуального середовища, дозволяє урахувати їх комплексний інтегральний вплив.

2. Запропоновано застосування інтегрального ризик-орієнтованого підходу до впровадження комплексної оцінки візуального середовища. Атестація робочих місць на основі розрахунку інтегрального

показника дії потенційно небезпечних факторів світлового середовища може дозволити враховувати взаємовплив шкідливих та небезпечних факторів різної природи (фізичної, психофізіологічної тощо) та за будь-якої їх кількості.

Запропонована методика оцінювання ризику дії негативних факторів світлового середовища дозволяє оцінити вирогідність розвитку набутих професійних хвороб та травмування працівників, діяльність яких пов'язана з виконанням робіт високої зорової складності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДБН В.2.5-28-2018. Природне і штучне освітлення. Київ : Мінбуд України, 2018. URL: <https://www.sunpower.ua/cp37498-dbn-v25-28-2018-prirodne-shtuchne-osvtlennya.html> (дата звернення: 12.05.2024).
2. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу : ДСНтаП. Затверджено Наказом Міністерства охорони здоров'я України від 08.04.2014 № 248. URL: <https://www.zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0472-14> (дата звернення: 12.05.2024).
3. Global strategy on occupational safety and health. Conclusions adopted by the international labour conference at its 91st session, 2003. International Labour Organization. URL: <http://www.ilo.org> (last access: 26.05.2022).
4. Tretyakov O. V., Harmash B. K., Biletska Ye. S. Industrial risk is the main indicator of the assessment of working conditions. *Dynamics of the development of world science : abstracts of the 6th International scient. and pract. conf.* February 19–21 2020. Vancouver : Perfect Publishing, 2020. Pp. 292–302.
5. Tretyakov O. V., Harmash B. K., Biletska Ye. S. The Assessment of Labor Conditions According to Hazard Indicators on the Basis of Production Risk Determination. *World Science*. Warsaw, 2020. № 1 (53), vol. 2. Pp. 28–33. DOI: 10.31435/rsglobal_ws/31012020/6901.
6. Juslén H., Tenner A. Mechanisms involved in enhancing human performance by changing the lighting in the industrial workplace. *Int J Ind Ergon*. 2005. № 35 (9). Pp. 843–855.
7. Linn H. I., Amendola A. A. Occupational Safety Research : overview. Encyclopedia of Occupational Safety and Health. International Labor Organization. Geneva, 2005. URL: https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_protect/---protrav/---safework/documents/publication/wcms_116863.pdf (last access: 12.05.2024).
8. ISO 45001. Системи менеджменту охорони здоров'я і безпеки праці. Вимоги з застосування. URL: <https://www.iso.org/standard/63787.html> (дата звернення 12.05.2024).
9. ДСТУ 2293:2014. Охорона праці. Терміни та визначення основних понять : Національний стандарт України. Затверджено наказом Мінекономрозвитку України від 02 грудня 2014 р. № 1429. [Чинний з 01 травня 2015 р.]. URL: http://web.kpi.kharkov.ua/safetyofliving/wp-content/uploads/sites/171/2017/10/dstu_2293_2014.pdf (дата звернення: 12.05.2024).
10. Polukarov O. I., Prakhovnik N. A., Polukarov Y. O., Mitiuk L. O., Demchuk H. V. Assessment of occupational risks : New approaches, improvement, and methodology. *International Journal of Advanced and Applied Sciences*. 2021. № 8 (11). Pp. 79–86.
11. Franzkowiak P. Risikofaktoren und Risikofaktorenmodell. *Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung*. 2018. DOI: 10.17623/BZGA:224-i102-2.0 (дата звернення: 12.05.2024).
12. Kuzminov B. P., Lototska-Dudyk U. B. Occupational factors and their influence on the health of workers in shoe productions. *National Medical University by Danilo Galitsky*. Lviv, 2020. URL: <https://doi.org/10.33573/ujoh2016.01.074> (дата звернення: 12.05.2024).
13. Nicoletti L., Padovano A. Human factors in occupational health and safety 4.0 : a cross-sectional correlation study of workload, stress and outcomes of an industrial emergency response. *International Journal of Simulation and Process Modelling*. 2019. № 14 (2). Pp. 178–195. DOI: 10.1504/IJSPM.2019.10021441 (дата звернення: 12.05.2024).
14. Global strategy on occupational safety and health. Conclusions adopted by the international labour conference at its 91st session, 2003. International Labour Organization. URL: <http://www.ilo.org> (дата звернення: 12.05.2024).
15. Zhurbenko V., Belikov A., Sankov P., Nazha P. The Influence of the Visual Factor on the Efficiency of Visualization Method in the Production Environment. In: Gomes Correia A., Azenha M., Cruz P. J. S., Novais P., Pereira P. (eds). Trends on Construction in the Digital Era. ISIC 2022. *Lecture Notes in Civil Engineering*. Vol. 306. Springer, Cham., 2023. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-20241-4_22
16. Беліков А. С., Журбенко В. М. Обґрунтування актуальності розробки сучасних методик дослідження виробничого середовища з урахуванням світлового фактору. *Науковий вісник ДонНТУ*. 2023. № 2 (11). Pp. 27–38. URL: <https://doi.org/10.31474/2415-7902-2023-2-11-27-38>
17. Leccese Francesco & Salvadori Giacomo & Casini Matteo & Bertozzi M. Lighting of indoor work places : risk assessment procedure. *WIT Transactions on Information and Communication Technologies*. 2012. № 44. Pp. 89–101. DOI: 10.2495/RISK120091.

18. Van Bommel W. J. M., Van den Beld G. J. Lighting for work : a review of visual and biological effects. *Lighting Research & Technology*. 2004. Vol. 36, № 4. Pp. 255–266.

REFERENCES

1. DBN V.2.5-28-2018. *Pryrodne i shtuchne osvittlennya* [DBN V.2.5-28-2018. Natural and artificial lighting]. Kyiv, Ministry of Construction of Ukraine Publ., 2018. URL: <https://www.sunpower.ua/cp37498-dbn-v25-28-2018-prirodne-shtuchne-osvittlennya.html> (in Ukrainian).
2. *Hihiyenichna klasyfikatsiya pratsi za pokaznykamy shkidlyvosti ta nebezpechnosti faktoriv vyrobnychoho seredovyscha, vazhkosti ta napruzhenosti trudovoho protsesu : DSNtaP* [Hygienic classification of work according to indicators of harmfulness and dangerous factors of the production environment, difficulty and tension of the labor process : DSNtaP]. Approved by the Order of the Ministry of Health of Ukraine dated April 8, 2014, no. 248. URL: <https://www.zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0472-14> (in Ukrainian).
3. Global strategy on occupational safety and health (2003). Conclusions adopted by the international labor conference at its 91st session. International Labour Organization. URL: <http://www.ilo.org> (last access: 12.05.2024).
4. Tretyakov O., Harmash B. and Biletska Ye. Industrial risk is the main indicator of the assessment of working conditions. Dynamics of the development of world science : abstracts of the 6th International Scientific and Practical Conference. February 19–21, 2020, Vancouver : Perfect Publishing, 2020, pp. 292–302.
5. Tretyakov O., Harmash B. and Biletska Ye. The Assessment of Labor Conditions According to Hazard Indicators on the Basis of Production Risk Determination. World Science. Warsaw, 2020, no. 1 (53), vol. 2, pp. 28–33. DOI: 10.31435/rsglobal_ws/31012020/6901.
6. Juslén H. and Tenner A. Mechanisms involved in enhancing human performance by changing the lighting in the industrial workplace. *Int J Ind Ergon*. No. 35 (9), 2005, pp. 843–855.
7. Linn H. and Amendola A. Occupational Safety Research : overview. Encyclopedia of Occupational Safety and Health. International Labor Organization. Geneva, 2005. URL: https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_protect/---protrav/---safework/documents/publication/wcms_116863.pdf (last access: 12.05.2024).
8. ISO 45001. Occupational health and safety management systems. Requirements with guidance for use. URL: <https://www.iso.org/standard/63787.html> (last access: 12.05.2024).
9. *DSTU 2293:2014. Okhorona pratsi. Terminy ta vyznachennya osnovnykh ponyat' : Natsional'nyy standart Ukrayiny* [DSTU 2293:2014. Labor protection. Terms and definitions of basic concepts : National Standard of Ukraine]. Approved by the order of the Ministry of Economic Development of Ukraine dated December 2, 2014, no. 1429. Valid since May 1, 2015. URL: http://web.kpi.kharkov.ua/safetyofliving/wp-content/uploads/sites/171/2017/10/dstu_2293_2014.pdf (last access: 12.05.2024). (in Ukrainian)
10. Polukarov O., Prakhovnik N., Polukarov Y., Mitiuk L. and Demchuk H. Assessment of occupational risks : new approaches, improvement, and methodology. *International Journal of Advanced and Applied Sciences*. No. 8 (11), 2021, pp. 79–86.
11. Franzkowiak P. Risikofaktoren und Risikofaktorenmodell. Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung. 2018. DOI: 10.17623/BZGA:224-i102-2.0 (last access: 12.05.2024).
12. Kuzminov B. and Lototska-Dudyk U. Occupational factors and their influence on the health of workers in shoe productions. National Medical University by Danilo Galitsky. Lviv, 2020. URL: <https://doi.org/10.33573/ujoh2016.01.074> (last access: 12.05.2024).
13. Nicoletti L. and Padovano A. Human factors in occupational health and safety 4.0 : a cross-sectional correlation study of workload, stress and outcomes of an industrial emergency response. *International Journal of Simulation and Process Modelling*. 2019, no. 14 (2), pp. 178–195. DOI: 10.1504/IJSPM.2019.10021441 (last access: 12.05.2024).
14. Global strategy on occupational safety and health. Conclusions adopted by the international labour conference at its 91st session, 2003. International Labour Organization. URL: <http://www.ilo.org> (last access: 7.12.2019).
15. Zhurbenko V., Belikov A., Sankov P. and Nazha P. The Influence of the Visual Factor on the Efficiency of Visualization Method in the Production Environment. In: Gomes Correia A., Azenha M., Cruz P.J.S., Novais P., Pereira P. (eds). *Trends on Construction in the Digital Era*. ISIC 2022. Lecture Notes in Civil Engineering, vol. 306. Springer, Cham., 2023. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-20241-4_22.
16. Belikov A.S. and Zhurbenko V.M. *Obhruntuvannya aktual'nosti rozrobky suchasnykh metodyk doslidzhennya vyrobnychoho seredovyscha z urakhuvannyam svitlovoho faktoru* [The Relevance of the Development of Modern Methods of the Light Factor Investigating in Production Environment]. *Naukovyy visnyk DonNTU* [Scientific Bulletin of Donetsk National Technical University]. 2023, no. 2 (11), pp. 27–38. URL: <https://doi.org/10.31474/2415-7902-2023-2-11-27-38> (in Ukrainian).
17. Leccese Francesco & Salvadori Giacomo & Casini Matteo & Bertozzi M. Lighting of indoor work places : risk assessment procedure. *WIT Transactions on Information and Communication Technologies*. 2012, no. 44, pp. 89–101. DOI: 10.2495/RISK120091.
18. Van Bommel W.J.M. and Van den Beld G.J. Lighting for work : a review of visual and biological effects. *Lighting Research & Technology*. 2004, vol. 36, no.4, pp. 255–266.

Надійшла до редакції: 10.09.2024.

УДК 697.1:621.178:697.34

DOI: 10.30838/UJCEA.2312.301024.44.1091

ВИКОРИСТАННЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЛОКАЛЬНОГО ТЕРМОРЕГУЛЮВАННЯ ТА ВЕНТИЛЯЦІЇ ПРАЦІВНИКІВ У РОБОЧИХ ЗОНАХ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНИХ ВИРОБНИЦТВ

БЄЛІКОВ А. С.¹, докт. техн. наук, проф.,
СТРЕЖЕКУРОВ Ю. Е.^{2*}, асп.

¹ Кафедра охорони праці, цивільної та техногенної безпеки, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-34-73, e-mail: belikov@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-5822-9682

^{2*} Кафедра охорони праці, цивільної та техногенної безпеки, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (097) 097-51-59, e-mail: staty.mail.ua@gmail.com, ORCID ID: 0009-0002-1791-395X

Анотація. Постановка проблеми. На виробництвах металургійних, петругійних та склоплавильних підприємств, де використовуються високотемпературні технологічні процеси, існує проблема перегрівання працівників через значні теплові навантаження. Для запобігання цій небезпеці застосовують великі промислові вентилятори, що встановлюються безпосередньо на виробничих ділянках та забезпечують циркуляцію повітря на значній площі. Проте не завжди їх характеристики, режими роботи та схеми розміщення дають належний ефект охолодження працівників. Необхідне вивчення цієї проблеми для розроблення заходів щодо підвищення ефективності таких пристроїв шляхом їх удосконалення та оптимізації застосування. **Мета статті** – комплексне дослідження можливості застосування безпілотних літальних апаратів (дронів) для охолодження робочих зон на виробництвах із високими тепловими навантаженнями замість традиційних промислових вентиляторів. До основних завдань належить: проаналізувати сучасні системи охолодження робочих місць та виявлення їх недоліків; дослідити технічні характеристики дронів, що можуть бути використані для цієї мети; розробити концепт алгоритму системи керування дроном-вентилятором для забезпечення роботи в автоматичному режимі із заданими параметрами для робочого місця; провести експериментальну перевірку ефективності охолодження такою системою на лабораторній моделі. **Висновок.** Застосування дронів для локального охолодження робочих зон дозволить підвищити ефективність та гнучкість систем вентиляції порівняно з існуючими. Така система забезпечить оптимальні мікрокліматичні умови безпосередньо для кожного працівника. Енергоефективність такого підходу буде вищою, оскільки використовуватиметься лише необхідна потужність охолодження. Передбачається підвищення рівня охорони праці та зниження професійних ризиків унаслідок зниження температурних навантажень.

Ключові слова: безпілотні літальні апарати (дрони); система охолодження; локальне терморегулювання; промислові виробництва; вентиляція; охорона праці

APPLICATION OF UNMANNED AERIAL VEHICLES FOR LOCALIZED THERMOREGULATION AND VENTILATION OF WORKERS AT JOBSITES OF HIGH-TEMPERATURE INDUSTRIES

BIELIKOV A.S.¹, Dr. Sc. (Tech.), Prof.,
STREZHEKUROV Yu.E.^{3*}, Postgrad. Stud.

¹ Department of Labor Protection, Civil and Technogenic Safety, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Architect Oleh Petrov Str., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-73, e-mail: belikov@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-5822-9682

^{2*} Department of Labor Protection, Civil and Technogenic Safety, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Architect Oleh Petrov Str., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-73, e-mail: staty.mail.ua@gmail.com, ORCID ID: 0009-0002-1791-395X

Abstract. Problem statement. In metallurgical and petrochemical industries using high-temperature technological processes, there exists an issue of overheating of workers due to significant heat loads. To prevent such hazard, large industrial fans are installed directly at production sites providing air circulation over a wide area. However, their performance characteristics, operation modes and placement schemes do not always ensure adequate cooling of employees. There is a need to study this problem in order to develop measures for improving efficiency of such devices

through their enhancement and optimized application. The aim of the article is a comprehensive study of possibilities of applying unmanned aerial vehicles (drones) for cooling of working zones at productions with high heat loads instead of traditional industrial fans. **The main objectives include:** Conducting analysis of modern workplace cooling systems and identifying their shortcomings; Exploring technical characteristics of drones that can be used for this purpose; Developing a concept of algorithm for drone-fan control system to ensure operation in automatic mode with preset parameters for a working post; Experimental verification of efficiency of such system on a laboratory model. **Conclusion.** Application of drones for localized cooling of working zones will increase efficiency and flexibility of ventilation systems compared to existing ones; Such a system will provide optimal microclimatic conditions directly for each employee; Energy efficiency of this approach will be higher as only necessary cooling power will be used; Expected improvement of occupational safety and reduction of professional risks due to lower heat loads.

Keywords: *unmanned aerial vehicles (drones); cooling system; localized thermoregulation; industrial productions; ventilation; occupational safety*

Постановка проблеми. На сучасних виробництвах металургійної та петрургійної галузей, де застосовуються високотемпературні технологічні процеси, існує серйозна проблема перегрівання персоналу на робочих місцях. Високі температурні навантаження негативно впливають на працездатність та здоров'я людей, збільшуючи ризики професійних захворювань.

Для запобігання цьому застосовують великі промислові вентилятори, які створюють штучну вентиляцію на певній території. Проте такі системи мають низку недоліків – низьку гнучкість, неефективність у певних умовах, значні енерговитрати.

Це зумовлює актуальність пошуку більш досконалих інженерних рішень для забезпечення комфортних мікрокліматичних умов на робочих місцях.

Одним із сучасних та перспективних напрямів стало застосування дронів як інтерактивних рухомих локальних систем охолодження.

Аналіз публікацій. Дослідники [1] довели значення як спектрального складу випромінювання, так і конвективної передачі тепла під час формування фізіологічних реакцій тіла людини. Так, проф. В. А. Левицький запропонував концепцію відмінності впливу на людину променевого і конвекційного тепла, яке полягає у різному механізмі сприйняття цих видів тепла. Відмінність полягає в такому: місцем впливу конвекційного тепла стає вся поверхня тіла, яке нагрівається в результаті дотику шкіри з навколишнім повітряним середовищем; місцем дії ІЧ випромінювання стає не тільки шкіра, а й більш глибокі тканини під нею, але тільки ті, які опромінюються безпосередньо та

вторинними джерелами випромінювання за законами заломлення та розповсюдження освітленості.

Наразі найпоширенішими системами механічної вентиляції стали централізовані вентиляторні установки, які забезпечують загальну вентиляцію цехів. Це, як правило, потужні вентилятори аксіального типу, що працюють із низькими швидкостями.

Однак ці системи не забезпечують ефективного охолодження безпосередньо біля робочих місць. Температура повітря на деяких ділянках цехів, особливо поблизу джерел тепла, може значно перевищувати гранично допустимі норми.

Крім того, централізована вентиляція характеризується високою енергоємністю.

Ця проблема особливо гостра, в металургії усіх напрямків, петрургії тощо.

Існуючі локальні системи вентиляторів також не можуть забезпечити ефективну терморегуляцію через недоліки у гнучкості керування.

Таким чином, залишається актуальною проблема розроблення енергоефективних та безпечних рішень для терморегулювання на робочих місцях від конвекційного тепла.

Мета роботи – комплексне дослідження можливості застосування безпілотних літальних апаратів (дронів) для охолодження робочих зон на виробництвах із високими тепловими навантаженнями замість традиційних промислових вентиляторів.

Основні завдання такі: провести аналіз сучасних систем охолодження робочих місць та виявити їх недоліки; дослідити технічні характеристики дронів, що можуть бути використані для цієї мети; розробити концепт алгоритму системи керування дроном-вентилятором для забезпечення роботи в автоматичному режимі із заданими

параметрами для робочого місця; провести експериментальну перевірку ефективності охолодження такою системою на лабораторній моделі.

Результати досліджень. За результатами досліджень [2–4], традиційні системи місцевої вентиляції переважно мають стаціонарне розташування, тобто не рухаються. Вони призначені для обдування ділянки безпосередньо біля печей чи устаткування з метою охолодження самого устаткування та попередження перегрівання. Проте такі стаціонарні вентилятори не забезпечують ефективного охолодження повітря на робочому місці оператора обладнання. Хоча деякі моделі мають рухому головку для зміни вектора потоку, це не вирішує проблеми через віддалене розташування від джерела тепла.

Традиційні системи місцевої вентиляції розташовуються на відстані 5–10 м від основних джерел тепла – печей, плавильних печей тощо. Така суттєва відстань не дозволяє досягти ефективного охолодження повітря безпосередньо на робочому місці. Навіть за наявності рухомого віяла вентилятора температура повітря на відстані 1–2 м перевищує допустимі норми на 10–15 °С.

Це пояснюється швидким розсіюванням теплового потоку на такій відстані від джерела. Тому діючі системи не можуть забезпечити комфортні умови праці безпосередньо біля осередків високих температур. Це одна з причин їх низької ефективності.

Досліджено [5–8] характеристики вентиляторів, що використовуються на типових металургійних та петрургійних виробництвах:

- відцентрові вентилятори потужністю 5–25 кВт, які застосовуються для загальної вентиляції цехів;
- аксіальні вентилятори потужністю 0,5–1,5 кВт для місцевої вентиляції.

Виміряно:

- інтенсивність повітряного потоку – від 0,5 до 4 м/с;

- розбіг швидкостей на різних відстанях у напрямку робочого місця 1–3 м від вентилятора, що характеризується високою нерівномірністю.

Проведено вимірювання температури та швидкості повітря на відстані 0,5–2,0 м від джерела тепла. Значення перевищували гранично допустимі норми на 15–20 °С, що створювало дискомфорт для працівників.

Підсумовуючи результати досліджень, можна зробити висновок, що існуючі системи механічної вентиляції на промислових підприємствах мають недоліки:

- віддалене розташування від джерела тепла;
- нерівномірний розподіл температурних полів;
- неможливість точного контролю та оптимізації обдування;
- не забезпечують належного терморегулювання безпосередньо на робочих місцях.

У зв'язку з цим доцільним бачиться впровадження інноваційних підходів, зокрема, застосування рухомих локальних систем охолодження на базі безпілотних літальних апаратів (квадрокоптерів).

Така система, розміщена безпосередньо над робочим місцем, здатна забезпечити точне контрольоване охолодження шляхом спрямованого потоку повітря. Це дозволить оптимізувати мікроклімат праці та підвищити безпеку операцій.

Отже, ми пропонуємо використовувати стабілізований квадрокоптер для вентиляції робочого місця і зменшення передачі конвекційного тепла робітнику.

Принцип роботи запропонованої системи охолодження повітря полягає у створенні квадрокоптера із системою стеження за рухомих об'єктом (у нашому випадку працівником, радіусом польоту над ареалом основного робочого місця), а також із куполом над квадрокоптером для захвату охолодженого сухого чистого повітря і направлення його безпосередньо над працівником. Загальна схема запропонованої концепції показана на рисунку 1.

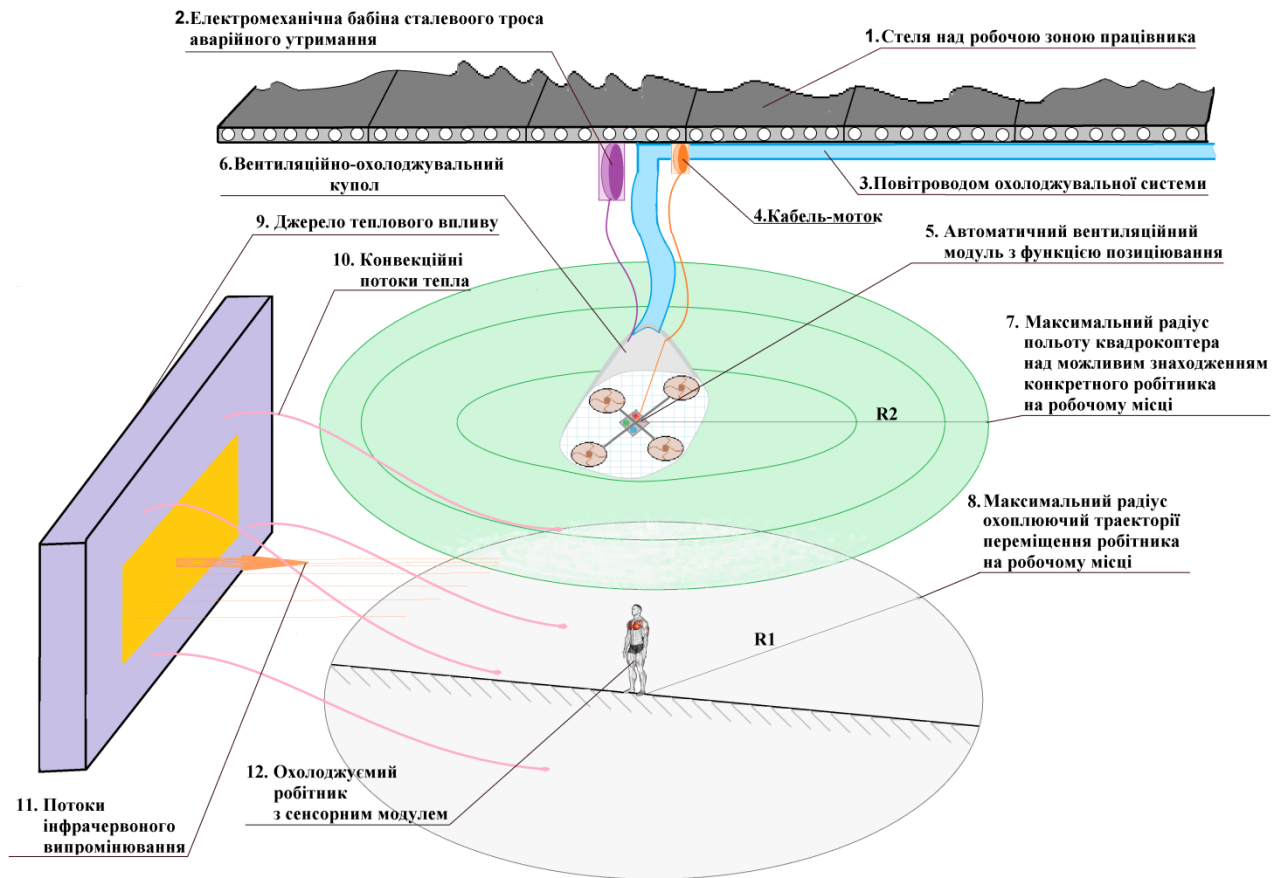


Рис. 1. Загальна схема концепції індивідуальної позиційної системи вентиляції для людини на робочому місці

Принцип роботи даної схеми полягає у тому, що працівник 12 на робочому місці, виконуючи технологічні операції згідно з посадовими обов'язками переміщується по цеху по непрямоїнійній траєкторії, яку не можна описати простою геометричною фігурою, але можна узагальнити в певний максимальний радіус відносно геометричного центра траєкторій переміщення 8.

Також деяке присутнє у цеху технологічне обладнання являє собою високотемпературне джерело 9 конвекційних теплових потоків 10 та інфрачервоного випромінювання 11.

На робітнику 12 закріплено радіомодуль стеження, який дозволяє квадрокоптеру 5 точно позиціонуватись над людиною. Квадрокоптер 5 обладнаний куполом 6, до якого підведений повітропровід 3 з очищеним та охолодженим повітрям, який має підвід зі стелі 1.

Електроживлення квадрокоптера організоване від стаціонарної мережі живлення через систему кабель-моток 4, що має економічну перевагу перед

акумуляторними системами живлення, який закріплено на стелі 1.

Система загальної безпеки квадрокоптера від падіння у випадку аварійного відключення живлення або зношування лопатей забезпечується прикріпленням до нього сталевим тросом в електромеханічній бобіні з механічними гальмами у нормально затисненому стані 2, яка також закріплена на стелі 1.

На рисунку 2 показано детальну конструкцію автоматичного вентиляційного модуля з функцією позиціонування на базі квадрокоптера.

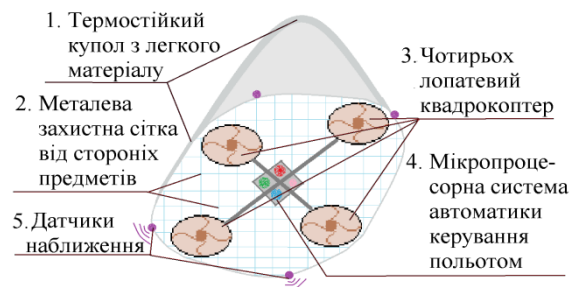


Рис. 2. Детальна конструкція автоматичного вентиляційного модуля

Основу автоматичного вентиляційного модуля (АВМ) складає чотирилопатевий

квадрокоптер 3, виготовлений з термостійкого пластику, який має розміри не менше 2×2 м, що забезпечує над людиною ефект «каверни».

До його основи закріплений купол із легкого негорючого матеріалу 1, у який входить дріт електроживлення, сталевий трос аварійного утримання та повітропровід.

Для забезпечення більшої надійності захисту людини нижня частина купола має захисну металеву сітку з розміром вікна, що не завадить аеродинамічним властивостям повітряного потоку, але забезпечить захист від потрапляння до лопатей сторонніх предметів у разі аварійної ситуації.

Купол по периметру з боків обладнаний датчиками наближення 5, які виключають аварійні зіткнення вентиляційного модуля не тільки з об'єктами та конструкціями приміщення, а й з іншими вентиляційними модулями у випадку перехрещення робочих зон різних працівників, які перебувають поблизу.

Мікропроцесорна система автоматики має декілька програмних забезпечень та алгоритмів забезпечення роботи:

- класична система керування польоту для плоскопаралельного польоту в певній області за алгоритмом «ПІД-регулятора»;
- алгоритм та математична модель для забезпечення, за допомогою датчика висоти, підтримки висоти польоту над працівником не менше 2 м та швидкості повітря на рівні його голови не більше ніж 2,5 м/с;
- алгоритм обробки даних із датчиків наближення та обходження перешкод забезпечує максимальне обдування працівника;

– алгоритм стеження по сигналу радіомодуля для максимального позиціонування робітника під центром купола.

Висновки.

1. Застосування автоматичного вентиляційного модуля з функцією позиціонування дозволяє забезпечити більш якісну вентиляцію приміщення порівняно зі стаціонарними і маломаневреними пристроями. Завдяки можливості цілеспрямованого переміщення над робочими зонами забезпечується набагато більша ефективність розсіювання тепла.

2. Використання сенсорної системи відстеження положення «Охолоджуваного робітника із сенсорним модулем» дозволяє автоматично регулювати траєкторію переміщення АВМ відповідно до руху персоналу, максимально точно забезпечуючи потрібну кількість охолоджуваного повітря.

3. Додаткове використання ефекту «каверни» над входом у приміщення доповнює ефект охолодження шляхом запобігання витоку нагрітого повітря під час відкривання/закривання дверей.

4. Запропонована система дозволить суттєво поліпшити мікроклімат у приміщеннях із високотехнологічним обладнанням та створити комфортні умови праці персоналу.

5. Пропоноване технічне рішення проходить процедуру авторського свідоцтва, але подальші дослідження мають перспективу бути спрямованими на розроблення оптимальних алгоритмів роботи АВМ із робітниками та удосконалення його конструкції.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Стрежекуров Э. Е. Комплексное решение задач теплозащиты рабочих мест и охраны окружающей среды от теплового загрязнения. В кн.: Приборы для экологии – 92. Ужгород, 1992.
2. Біляєв М. М. Математичне моделювання розрахунку параметрів мікроклімату в робочих зонах. *Проблеми математичного моделювання : матер. Всеукр. наук.-метод. конф.* Кам'янське, 2020. С. 6–8.
3. Шаленний В. Т., Шаломов В. А., Папірник Р. Б. та ін. Напрямки удосконалення сучасних технологій, матеріалів і обладнання із врахуванням енергетичних витрат та умов праці будівельних робітників. *Строительство. Материаловедение. Машиностроение*. 2010. Вып. 52. С. 127-131.
4. Беліков А. С., Шаломов В. А., Рагімов С. Ю., Михайлов М. О. Фізичне моделювання зміни енергетичного впливу на робочі місця з урахуванням високотемпературного випромінювання. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2017. № 4 (231–232). С. 10–17.

5. Стрежекуров Ю. Е. Аналіз впливу негативних та шкідливих факторів на виникнення професійних захворювань. *Безпека життєдіяльності в XXI столітті : матер. студ. наук.-практ. конф.* Дніпро, 2024.
6. Стрежекуров Ю. Е. Ukrainian research schools negative thermal factors at workplaces. *Виклики та проблеми сучасної науки : зб. наук. пр.* Дніпро, 2023. С. 598–610.
7. Біліков А. С., Стрежекуров Ю. Е., Шаломов В. А., Рагімов С. Ю. До питання комплексного впливу негативних та шкідливих факторів на виникнення професійних захворювань. *Український журнал будівництва та архітектури.* 2024. № 1 (019). С. 26–32.
8. Біліков А. С., Стрежекуров Ю. Е., Рагімов С. Ю., Харченко В. В. До питання комплексного оцінки впливу теплового випромінювання на робочих місцях з урахуванням забруднення повітряного середовища. *Український журнал будівництва та архітектури.* 2023. № 6 (018). С. 7–15.

REFERENCES

1. Strezhekurov E.E. *Kompleksnoie reshenie zadach teplozashchity rabochikh mest i okhrany okruzhaiushchei sredy ot teplovogo zagriazaniia* [A comprehensive solution to the problems of thermal protection of workplaces and environmental protection from thermal pollution]. V kn. : *Priboru dlia ekologii*–92 [In the book : Devices for Ecology–92]. Uzhgorod, 1992. (in Russian).
2. Bilaiev M.M. *Matematichne modeliuvanriia rozrachku parametriv mikroklimatu v robochikh zonakh* [Mathematical modeling of the calculation of microclimate parameters in working areas]. *Problemu Matematichnogo Modeliuvannia : Materialy vseukrains'koi naukovo-metodichnoi konferentsii* [Problems of Mathematical Modeling : materials of the all-Ukrainian scientific and methodological conference]. Kam'ians'ke, 2020, pp. 6–8. (in Ukrainian).
3. Shalennuy V.T., Shalomov V.A., Papiruk R.B. and oth. *Napriamki udoskonalennia suchasnykh tekhnologiy, materialiv i obladannia iz vrakhuvanniam energetychnykh vutrat ta umov pratsi budivel'nykh robotnykiv* [Directions for improving modern technologies, materials and equipment, taking into account energy costs and working conditions of construction workers]. *Stroitelstvo. Materialovedenie. Mashinostroenie* [Construction. Materials Science. Mechanical Engineering]. 2010, vol. 52, pp. 127–131. (in Ukrainian).
4. Bielikov A.S., Shalomov V.A., Ragimov S.Yu. and Mukhaylov M.O. *Fizychne modeliuвання zminu energetychnogo vplyvu na robochi mista z urakhuvanniam vysokotemperaturnogo vyprominiuvannia* [Physical modeling of changes in energy impact on workplaces taking into account high-temperature radiation]. *Visnuk Prydniprovskoi derzhpavoi akademii budivnytstva ta arkhitektury* [Bulletin of Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture]. 2017, no. 4 (231–232), pp. 10–17. (in Ukrainian).
5. Strezhekurov Yu.E. *Analiz vplyvu nehatyvnykh ta shkidlyvykh faktoriv na vynyknennya profesinykh zakhvoryuvan'* [Analysis of the influence of negative and harmful factors on the emergence of occupational diseases]. *Bezpeka zhyttyediyal'nosti v KHKHI stolitti : materialy students'koyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi* [Life Safety in the XXI Century : materials of the student scientific and practical conference]. Dnipro, 2024. (in Ukrainian).
6. Strezhekurov Yu.E. Ukrainian research schools negative thermal factors at workplaces. *Vyklyky ta problemy suchasnoyi nauky : zbirnyk naukovykh prats'* [Challenges and Problems of Modern Science : collection of scientific works]. Dnipro, 2023, pp. 598–610. (in Ukrainian).
7. Bielikov A.S., Strezhekurov Yu.E., Shalomov V.A. and Ragimov S.Yu. *Do pytannya kompleksnoho vplyvu nehatyvnykh ta shkidlyvykh faktoriv na vynyknennya profesinykh zakhvoryuvan'* [To the question of the complex impact of negative and harmful factors on the emergence of occupational diseases]. *Ukrayins'kyi zhurnal budivnytstva ta arkhitektury* [Ukrainian Journal of Civil Engineering and Architecture]. 2024, no.1 (019), pp. 26–32. (in Ukrainian).
8. Bielikov A.S., Strezhekurov Yu.E., Ragimov S.Yu. and Kharchenko V.V. *Do pytannya kompleksnoho otsinky vplyvu teplovoho vyprominiuvannia na robochikh mistyakh z urakhuvanniam zabrudnennia povitryanoho seredovyscha* [To the question of the complex assessment of the impact of heat radiation at workplaces taking into account air pollution]. *Ukrayins'kyi zhurnal budivnytstva ta arkhitektury* [Ukrainian Journal of Civil Engineering and Architecture]. 2023, no. 6 (018), pp. 7–15. (in Ukrainian).

Надійшла до редакції: 02.09.2024.

УДК 378.091:005.591.6

DOI: 10.30838/UJCEA.2312.301024.50.1092

ВПЛИВ СУЧАСНИХ ФОРМАТІВ ВЕДЕННЯ ОСВІТНЬОГО ПРОЦЕСУ (ДИСТАНЦІЙНИЙ, ЗМІШАНИЙ та ін.) НА ОСНОВНІ СПІЛЬНОТИ УНІВЕРСИТЕТУ, НА РЕАЛІЗАЦІЮ МІСІЇ, ЦІЛЕЙ ТА ЯКІСТЬ ВИЩОЇ ОСВІТИ

БІЛОПОЛИЙ В. В.^{1*}, канд. іст. наук., доц.,
САВОШ Г. П.², канд. соціолог. наук, доц.

^{1*} Кафедра філософії, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (097) 382-50-30, e-mails: bilopolyiv@gmail.com; bv11.5@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-9935-7568

² Кафедра філософії, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (067) 276-60-53, e-mail: savosh.halyna@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-3524-9645

Анотація. Актуальність роботи. Нові типи мислення і нові засоби перетворення дійсності викликають необхідність всебічного розвитку молодого покоління, демократизації суспільства, гуманізації вищої школи, вимагають переосмислення самої парадигми вищої освіти, відмови від адаптивної моделі засвоєння знань на користь моделі освіти, зорієнтованої на особистість, і стають важливою суспільною потребою. Тому центром навчально-виховних дій має стати конкретний студент і, відповідно, всі засоби та форми організації мають підпорядковуватися меті його всебічного особистісного і професійного розвитку. Головна увага має концентруватися на особистості студента, адже від того, який сенс має для нього професія, як він ставиться до інших людей, до себе, залежить успішність професіоналізації. **Методика.** Дослідження спиралося на низку визначальних принципів – наукового плюралізму, методологічної різноманітності, критичності мислення, єдності суб'єктивного та об'єктивного, системного компаративізму тощо. Застосовано методи програмно-цільовий та узагальнення. **Мета дослідження** – визначення впливу сучасних форматів навчання на реалізацію місії, цілей та якості вищої освіти. **Результати.** У сучасних непростих соціокультурних умовах вища школа має взяти на себе захист головного права кожного студента – права на такі умови навчального середовища, які б забезпечували йому повноцінний особистісний і професійний розвиток у максимально можливому діапазоні індивідуальних психологічних ресурсів. Інформаційно-комп'ютерні технології (далі ІКТ) освітнього процесу стали характерними рисами функціонування сучасного закладу вищої освіти. Сучасні ІКТ визначають розвиток університетів щодо надання швидких та якісних освітніх послуг, особливо якщо йдеться про ситуацію у суспільстві, коли доступ до традиційних форм навчання обмежений. Автори доходять висновку, що впровадження дистанційного та змішаного навчання, цифровізації освіти, використання систем штучного інтелекту сприятиме поліпшенню якості освіти та науки України, що полегшить інтеграцію нашої держави до євросередовища.

Ключові слова: *якість освіти; навчально-виховні дії; парадигма вищої освіти; освітній процес; форми навчання; цифровізація освіти*

THE INFLUENCE OF MODERN FORMATS OF THE EDUCATIONAL PROCESS (DISTANCE, MIXED AND OTHERS) ON THE MAIN COMMUNITIES OF THE UNIVERSITY, ON THE IMPLEMENTATION OF THE MISSION, GOALS AND QUALITY OF HIGHER EDUCATION

BILOPOLYI V.V.^{1*}, Cand. Sc. (Hist.), Assoc. Prof.,
SAVOSH G.P.², Cand. Sc. (Sociol.), Assoc. Prof.

^{1*} Department of Philosophy, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Architect Oleh Petrov Str., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (097) 382-50-30, e-mails: bilopolyiv@gmail.com; bv11.5@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-9935-7568

² Department of Philosophy, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Architect Oleh Petrov Str., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (067) 276-60-53, e-mail: savosh.halyna@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-3524-9645

Abstract. The relevance of the work New types of thinking and new ways of transforming activity call for the need for the comprehensive development of the younger generation, democratization of marriage, humanization of the graduate school, requires a rethinking of the very paradigm of global awareness, as an adaptive model, acquired knowledge on the basis of a model of awareness, oriented towards specialness and becoming important suspenseful need. Therefore, the centre of educational activities should be a specific student and, accordingly, all methods and forms of organization should be subordinated to the goal of his comprehensive personal and professional development. The main attention should be focused on the personality of the student, because the success of professionalization depends on the meaning of the profession for him, how he treats other people, and himself. **The purpose of the research** is to determine the influence of modern education formats on the implementation of the mission, goals and quality of higher education. **Methodology.** The research was based on a number of defining principles – scientific pluralism, methodological diversity, critical thinking, unity of subjective and objective, systemic comparativism, etc. The methods used were programmatic – target, and generalization. **The results.** In today's difficult socio-cultural conditions, the higher school must take on the protection of the main right of every student – the right to such conditions of the educational environment that would provide him with full-fledged personal and professional development in the maximum possible range of individual psychological resources. Information technologies of the educational process are characteristic features of the functioning of a modern institution of higher education. Modern ICT determines the development of universities in terms of providing fast and high-quality educational services, especially when it comes to the situation in society when access to traditional forms of education is limited. The authors come to the conclusion that the implementation of distance and mixed learning, digitization of education, use of artificial intelligence systems will contribute to improving the quality of education and science in Ukraine, which will facilitate the integration of our state into the European environment.

Keywords: *quality of education; educational activities; paradigm of higher education; educational process; forms of education; digitization of education*

Вступ. Сучасні реалії диктують необхідність змін у всіх сферах життя, зокрема, і в освіті. Умови життя, зростаючий обсяг інформації вимагають, щоб школа готувала учнів, які вміють самостійно здобувати знання, виділяти головне, швидко орієнтуватися у конкретній ситуації. На думку Л. А. Мартинець, реформування системи освіти в Україні набуло глобального характеру. Формується парадигма освіти (загальної, середньої та вищої), яка передбачає використання нових освітніх моделей, методик і технологій та орієнтацію на інтереси особистості, адекватні сучасним тенденціям суспільного розвитку [12].

Дистанційна та змішана форми навчання вже не є новиною, а стають дедалі більш поширеними форматами ведення освітнього процесу. Ці формати мають як переваги, так і недоліки, які впливають на реалізацію місії, цілей та на якість вищої освіти і основні спільноти університету, до яких належать головні споживачі освітніх послуг студенти, які найбільш зацікавлені в тому, щоб освітній процес був якісним та ефективним, викладачі, які забезпечують реалізацію освітнього процесу і відповідають за надання якісних освітніх послуг та за формування у студентів необхідних знань, умінь та навичок,

адміністрація – відповідальні за керування вишем, які повинні забезпечити створення умов для ефективного функціонування вишу та для реалізації його місії та цілей.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Українські вчені приділяють увагу дослідженню цієї проблеми. Так, на думку С. У. Гончаренко, перед сучасною педагогікою стоять чотири основні завдання: збереження «культурної спадщини» традиційної педагогіки; створення «нової педагогіки», яка б відповідала сучасним реаліям і вимогам до освіти; реалізація ефективних стратегій реформування і модернізації освіти; «...конституювання сучасного органона педагогічних знань (філософії освіти, орієнтовані на педагогіку вчення і теорії, освітні і навчальні предмети, педагогічні технології тощо)» [5; 39].

Ю. Олізько вважає, що реалізації усіх дидактичних принципів навчання сприяє міждисциплінарний підхід [15].

О. А. Дубасенюк виявлено основні загальні закони перебігу інноваційного процесу в освітньому середовищі: закон незворотної дестабілізації інноваційно-освітнього середовища; закон фінальної реалізації інноваційного процесу у практиці; закон утворення педагогічного стереотипу;

закон циклового повторення, або закон зворотності освітніх інновацій [7].

Пошуком шляхів урізноманітнення та збільшення відкритості навчального матеріалу за допомогою нових технологій займалися вітчизняні вчені В. Ю. Биков [1], О. Г. Глазунова [4], С. Г. Литвинова [11], О. В. Співаковський [22].

Аналізом цифрових компетенцій громадян і формулюванням низки пропозицій щодо забезпечення їх готовності до використання сучасних цифрових можливостей займався Т. В. Запорожець [8], питання застосування цифрових технологій у дистанційному педагогічному оцінюванні здобувачів вищої освіти розглядали В. Шилонова, Е. Долінська, В. Гладуш, Т. Махия, О. Бенч, М. Дудек [18].

Актуальність дослідження.

Незважаючи на досить широкий спектр питань, порушених у названих роботах, ми не виявили літературних джерел сучасних фундаментальних досліджень, що загострюють увагу на прояві загальних законів розвитку під час навчальної діяльності та вивчають вплив сучасних форматів ведення освітнього процесу на основні спільноти вишу, реалізацію місії, цілей та якість вищої освіти. Це зумовлює актуальність обраної нами теми наукової роботи та спонукає до подальшого дослідження проблеми.

Мета дослідження. Визначення впливу сучасних форматів навчання на реалізацію місії, цілей та якість вищої освіти.

Завдання дослідження. 1. Надати сучасне визначення загальних законів розвитку освіти.

2. Дослідити основні принципи, що зумовлюють навчальну діяльність.

3. Проаналізувати особливості прояву загальних законів розвитку під час організації сучасного навчального процесу.

Виклад основного матеріалу дослідження. На нашу думку, проблема включає кілька блоків, які, поєднуючись, і дають повну картину. Перше – інновації у системі навчання та зміна форматів навчання, друге – впровадження цифрових технологій, і третє – використання штучного інтелекту.

Безумовно, інновації у навчанні, у тому числі й у вищій школі, сьогодні необхідні. За дослідженнями О. А. Дубасенюк, інновації у вищій школі насамперед передбачають створення електронної бази даних; організацію науково-дослідницьких та навчально-методичних об'єднань із проблем професійної освіти; вивчення, узагальнення та поширення кращого вітчизняного, європейського та світового досвіду у цій сфері, а також організацію і проведення конференцій, семінарів і тренінгових курсів з інноваційних методик викладання. Взагалі, модернізація системи вищої освіти в Україні характеризується поєднанням традицій, що склалися у вітчизняній вищій школі, і новими ідеями, пов'язаними із входженням України в європейський та світовий освітній простір [7].

Формати навчання впливають на основні спільноти університету і визначають якість навчання. Тому розглянемо їх більш докладно.

Старі формати навчання – це традиційні підходи до освіти, які застосовувалися протягом багатьох століть. Вони характеризуються тим, що навчання відбувається в аудиторії під керівництвом викладача. До них належать [9]:

Лекція – форма навчання, за якої викладач виступає перед аудиторією з викладом матеріалу.

Семінар – форма навчання, коли студенти обговорюють під керівництвом викладача певну тему.

Практична робота – форма навчання, за якої студенти виконують практичні завдання, щоб закріпити отримані знання та навички.

Консультація – форма навчання, коли студенти отримують індивідуальну допомогу від викладача.

Старі формати навчання мають свої переваги та недоліки. З одного боку, вони дозволяють викладачу ефективно передавати знання великій кількості студентів. З іншого, вони можуть бути малоефективними для студентів, які мають індивідуальний темп навчання або які хочуть брати більш активну участь у процесі навчання.

У сучасному світі старі формати навчання все частіше доповнюються новими, такими як дистанційне та змішане навчання. Однак вони продовжують залишатися важливою частиною вищої освіти.

В Україні до війни 2022 року існували такі формати навчання:

- очне – традиційний формат навчання, за якого студенти відвідують аудиторії та беруть участь у лекціях, семінарах, практичних заняттях та консультаціях.

- дистанційне – формат навчання, коли студенти навчаються дистанційно, використовуючи сучасні технології.

- змішане – формат, який поєднує в собі елементи очного та дистанційного навчання.

Очне навчання було основним форматом в українських вишах. Воно дає студентам можливість отримувати якісну освіту в комфортних умовах, брати участь у живому спілкуванні з викладачами та іншими студентами, а також у практичних заняттях, які неможливо провести дистанційно.

Дистанційне навчання в Україні набуває дедалі більшої популярності. Воно дає студентам можливість навчатися в будь-якому місці та в будь-який час, що особливо важливо для людей, які працюють або проживають у віддалених регіонах. Однак дистанційне навчання має свої недоліки, такі як відсутність живого спілкування з викладачами та іншими студентами, а також труднощі з самоорганізацією та самоконтролем.

Змішане навчання – це альтернатива традиційному очному. У загальному розумінні змішане навчання – це коли частина пізнавальної діяльності студентів відбувається під безпосереднім керівництвом викладача, а інша – у самостійній роботі з електронними ресурсами.

Є кілька варіантів «змішування»:

- поєднання очної форми із дистанційною;

- поєднання різних форматів навчання у межах одного класу (основне – очне навчання із використанням технологій дистанційного навчання та різних форм

роботи з електронними ресурсами, онлайн-курсами тощо);

- поєднання самостійного навчання та співпраці в аудиторії (класі);

- змішування основного навчального контенту (підручників та навчальних матеріалів) із зовнішніми матеріалами (електронними ресурсами).

Війна в Україні спричинила значні зміни у форматі навчання. Найбільш застосованою наразі стала практика поєднання очної форми із дистанційною. Більшість навчальних закладів України були змушені перейти на дистанційне навчання, оскільки очне стало неможливим через ситуацію безпеки.

Зараз, під час війни, навчання українців стикається з низкою викликів, таких як [14]:

Безпека. Багато українців були змушені покинути свої домівки. Це ускладнює доступ до освіти, оскільки студентам може бути важко знайти місце, де вони могли б навчатися в безпеці.

Фінансові труднощі. Війна спричинила економічні труднощі в Україні. Це може ускладнити для багатьох українців оплату навчання.

Психічний стан. Війна негативно впливає на психічний стан українців. Це ускладнює навчання, оскільки вони можуть відчувати стрес, тривогу або депресію.

Уряд України та міжнародні організації вживають заходів для підтримки навчання українців під час війни. Ці заходи включають:

- забезпечення доступу до дистанційного навчання. Уряд України та міжнародні організації допомагають нашим вишам розробляти та надавати дистанційні освітні послуги;

- надання фінансової допомоги. Уряд України та міжнародні організації надають фінансову допомогу студентам, які не можуть оплатити навчання;

- психологічна підтримка. Уряд України та міжнародні організації надають психологічну підтримку студентам, які відчують стрес, тривогу або депресію.

Дистанційне та змішане навчання мають низку переваг. Вони дозволяють навчатися в комфортному для себе темпі, у будь-якому місці та в будь-який час. Це особливо

важливо для студентів, які проживають у віддалених регіонах або мають обмежені можливості для відвідування вишу. Крім того, дистанційне та змішане навчання дозволяють студентам самостійно керувати своїм часом та навчатися за власним ритмом [3].

Для викладачів дистанційне та змішане навчання стало новим викликом. Вони повинні навчитися використовувати сучасні технології та методи навчання, щоб забезпечити ефективність освітнього процесу. Крім того, викладачі повинні бути готовими до того, що студенти будуть більш самостійними та ініціативними у навчанні.

Для адміністрації вишу дистанційне та змішане навчання – це спосіб оптимізації витрат та підвищення ефективності освітнього процесу. Крім того, дистанційне та змішане навчання дозволяють вишам розширити свою аудиторію та залучити студентів з інших регіонів та країн.

Слід звернути увагу і на те, як впливають сучасні формати навчання на реалізацію місії, цілей та якості вищої освіти. Дистанційне та змішане навчання можуть позитивно позначатися на реалізації місії та цілей вищої освіти. Вони дозволяють вишам надавати якісні освітні послуги більшій кількості людей, незалежно від їх місцезнаходження та фінансових можливостей. Крім того, дистанційне та змішане навчання можуть сприяти підвищенню якості вищої освіти, оскільки вони дозволяють застосовувати сучасні технології та методи навчання.

Однак, щоб дистанційне та змішане навчання справді позитивно впливали на якість вищої освіти, необхідно забезпечити їх якісну реалізацію. Для цього потрібно:

- забезпечити належну підготовку викладачів. Вони повинні навчитися застосовувати сучасні технології та методи навчання, щоб забезпечити ефективність освітнього процесу;

- створити відповідні умови для дистанційного та змішаного навчання. Виші повинні забезпечити студентів необхідними ресурсами, такими як доступ до Інтернету, комп'ютерної техніки та програмного забезпечення;

- впровадити систему моніторингу та оцінювання якості дистанційного та змішаного навчання. Це дозволить відстежувати ефективність освітнього процесу та вносити необхідні корективи.

Крім того, ведучи мову про нові методи навчання, не можна не приділити увагу цифровізації, або, як її часто називають, диджиталізації вищої освіти. Сучасні дослідники виділили чотири тренди, пов'язані з цим. Це впровадження цифрових інструментів та технологій у традиційні освітні програми та навчальні дисципліни, тобто формування моделі змішаного навчання; розвиток онлайн-освіти; створення віртуального (цифрового) освітнього середовища; зміна підходу до керування освітніми організаціями [10].

Упровадження цифрових технологій та інструментів розширює можливості використання інтерактивних методів навчання, позитивно впливає на залучення студентів до процесу навчання. До ефективних технологій відносять використання систем керування навчанням (Learning Management Systems (LMS)), які, на думку дослідників, полегшують доступ до навчальних матеріалів і роблять процес навчання більш гнучким [2].

Практики впровадження цифрових технологій торкаються модернізації напрямів науково-дослідницької діяльності. На даний момент цифровізація дала можливість модернізації як самого навчального процесу, так і проведення прийому абітурієнтів на навчання за новими програмами вищої освіти та якісне вдосконалення вже діючих програм, що позитивно зарекомендували себе.

Розроблення та впровадження в освітній процес цифрових інструментів і технологій також викликають зміни освітньої ситуації: до кола авторів, залучених до освіти, включаються нові учасники, діяльність яких перетворює звичні стосунки між викладачами, студентами та адміністрацією освітніх організацій. Це розробники програмних засобів та інструментів, розробники та власники освітніх платформ, посередники, що надають послуги з адаптації як самих інструментів і технологій до освітнього процесу у вишах, так і

викладачів та студентів до нових технологій [6].

Онлайн-освіта, на думку експертів, має низку переваг щодо порівняння з традиційною освітньою моделлю. Вона дає доступ до вищої освіти ширшому колу охочих її отримати, дозволяє багаторазово відтворювати навчальний матеріал, що полегшує його засвоєння, надає можливість студентам самостійно обирати зручну форму засвоєння матеріалу та формувати розклад занять, тим самим забезпечуючи індивідуалізацію освіти.

Вчені наголошують, що використання інформаційно-комунікативних технологій та соціальних медіа дає можливість учням та студентам виступати не тільки в ролі споживачів інформації, структурованої за певними принципами згідно з педагогічною логікою, а й у ролі здобувачів освіти, котрі можуть поділитися знанням, дати поради, підказати рішення. У них більше можливостей виступати як активні учасники створення знання [13].

Отже, сучасні цифрові технології дозволяють створювати персональне середовище, що інтегрує в собі можливості формального і неформального навчання.

Активну роль у створенні віртуального освітнього середовища відіграють різні системи управління навчанням, такі як Socrative, Kahoot, Edmodo, Moodle та Nearpad. Вони являють собою інтегровану платформу для управління ресурсами, підтримки комунікації між викладачами та студентами, оцінення якості навчання [19].

На думку багатьох науковців, створення віртуального навчального середовища викликає радикальну зміну ролі викладача вищої школи: з носія академічних знань та постачальника інформації він перетворюється на навчального дизайнера, наставника студентів, координатора та організатора навчання, який розробляє ефективне і привабливе освітнє середовище, що формує у студентів здатність вчитися протягом усього життя [21].

А. А. Харківська підкреслює, що педагогу, який не володіє сучасними цифровими технологіями і не може використовувати їх у своїй професійній

діяльності, дуже проблематично забезпечити якість освітнього процесу [17].

Крім того, цифровізація освітнього процесу не може не торкнутися і системи управління ВНЗ. А саме, дозволяє перейти [20; 21]:

- до індивідуальних освітніх програм, коли студенти можуть брати активну участь у створенні знань, а адміністратори та викладачі – враховувати індивідуальні стилі навчання;

- до індивідуалізованої системи оцінювання, в основі якої лежать такі критерії як здатність виконувати поставлені завдання, критично мислити, вчитися, працювати з великими обсягами інформації тощо;

- від традиційних просторів (аудиторія, бібліотека, комп'ютерний клас) до гібридних просторів, що поєднує в собі можливості цифрового, мобільного, віртуального, онлайн, соціального та фізичного простору;

- до формування на базі інформаційно-комунікативних технологій нових моделей взаємодії з випускниками, що дозволяють враховувати їхні освітні потреби після закінчення вишу та гнучко реагувати на відповідні запити.

Таким чином, система керування ВНЗ стає більш гнучкою, демократичною та відкритою для освітніх інновацій. Проте, незважаючи на перелік позитивних якостей освітньої диджиталізації, як і в будь-якій іншій формі навчання, в ній можна виділити кілька недоліків. Перш за все, це ускладнена ідентифікація дистанційних студентів, оскільки на сучасному етапі розвитку технологій перевірити, хто ж саме складає екзамен досить складно. По-друге, це недостатній безпосередній контакт між персональним викладачем (тьютором) та дистанційним студентом через надзвичайну професійну завантаженість вітчизняних педагогів [16].

Цифрові технології на основі штучного інтелекту також виявляються дуже корисними в організації навчально-освітнього процесу. Штучний інтелект має багато переваг.

1. Використання для створення індивідуальних навчальних планів для

кожного учня, заснованих на індивідуальних розумових, фізичних здібностях, інтересах та схильностях. Це дозволить розкривати потенціал кожної людини найефективніше.

2. Інтеграція інтерактивних навчальних матеріалів на основі обробки та аналізу великого масиву актуальної інформації із застосуванням найкращих світових досягнень у сфері науки та освіти, що допомагає кращому залученню студентів до навчальних процесів, підвищуючи їх увагу, зацікавленість, посилюючи конверсію від навчання.

3. Об'єктивний та неупереджений механізм оцінювання на основі реальної чистої ефективності кожного студента, що дозволить оперативно підлаштовувати навчальний процес під лідерів та аутсайдерів.

4. Розвиток навичок критичного мислення та вирішення проблем на основі запропонованих складних та реалістичних сценаріїв, що вимагають від студентів нестандартного підходу.

5. Можливість створювати інноваційні ресурси, які роблять освіту доступною для всіх студентів.

6. Автоматизація зворотного зв'язку, що звільняє час викладачів для інших важливих завдань.

Висновки і перспективи подальших розробок. Дистанційне та змішане навчання мають потенціал для позитивного впливу на основні спільноти університету, на реалізацію місії, цілей та на якість вищої освіти. Однак, щоб цей вплив був позитивним, необхідно забезпечити належну підготовку та реалізацію цих форматів навчання.

Після закінчення війни в Україні, ймовірно, відбудеться подальший розвиток дистанційного та змішаного навчання. Ці формати навчання дозволять вишам надавати якісні освітні послуги більшій

кількості людей, незалежно від їх місцезнаходження та фінансових можливостей.

Крім того, після війни в Україні, ймовірно, відбудеться зростання попиту на освітні послуги. Це пов'язано з тим, що багато українців, які були змушені покинути свої домівки, будуть прагнути продовжити освіту.

Впроваджувані цифрові технології та інструменти змінюють як саму освітню ситуацію, так і ролі основних учасників освітнього процесу, а також правила взаємодії між ними.

Щоб система дистанційного навчання посла гідне місце в системі освіти України, потрібно, передусім, створити глобальну комп'ютерну мережу освіти й науки, оскільки саме комп'ютер дає змогу отримувати навчальний матеріал, є водночас і бібліотекою, і центром довідкової інформації, і комунікативним центром, що робить його одним з учасників реалізації програми безперервної освіти в Україні.

Використання штучного інтелекту у контексті концепції відкритої науки може надати студентам нові можливості для навчання, досліджень та розвитку їхніх професійних навичок. Проте необхідно розуміти, що фанатичне застосування технологій штучного інтелекту може викликати низку негативних факторів, як, наприклад, зменшення креативності та схильності до критичного мислення, збільшення розриву між соціальними групами студентів за показником багатства, зменшення ролі викладача, загострення питання академічної доброчесності.

Незважаючи на це, впровадження систем штучного інтелекту сприятиме поліпшенню цифровізації освіти та науки України, що полегшить інтеграцію нашої держави до євросередовища.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Биков В. Ю., Спірін О. М., Шишкіна М. П. Корпоративні інформаційні системи підтримання науково-освітньої діяльності на базі хмаро орієнтованих сервісів. *Проблеми та перспективи формування національної гуманітарно-технічної еліти : зб. наук. пр.* Під ред. Л. Л. ТОВАЖНЯНСЬКОГО, О. Г. РОМАНОВСЬКОГО. Харків : НТУ «ХПІ», 2015. Вип. 43 (47), ч. 2. С. 93–121.

2. Биков В. Ю., Буров О. Ю. Цифрове навчальне середовище: нові технології та вимоги до здобувачів знань. *Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання у підготовці фахівців : методологія, теорія, досвід, проблеми : зб. наук. пр.* Київ – Вінниця : ТОВ фірма «Планер», 2020. Вип. 55. С. 11–21.

3. Боднар Т. Сучасні практики використання змішаного навчання в українській вищій школі. *Актуальні питання гуманітарних наук*. 2021. Вип. 45 (1). С. 161–165.
4. Глазунова О. Г. Принципи формування «академічної хмари» сучасного університету на основі відкритих програмних платформ. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2014. № 5 (43). С. 174–188. URL: <http://journal.iitta.gov.ua/index.php/ilt/article/view/1096>
5. Гончаренко С. У. Методологічні засади побудови педагогічної теорії. *Професійна освіта : педагогіка і психологія : пол.-укр., укр.-пол.: щорічник*. 2012. С. 37–49.
6. «Діджиталізація» — слово 2019 року в Україні. URL: <https://itc.ua/news/didzhitalizacziya-slovo-2019-roku-v-ukrayini-za-versiyeyu-onlajn-slovnika-mislovo/>
7. Дубасенюк О. А. Інноваційні освітні технології та методики в системі професійно-педагогічної підготовки. *Професійна педагогічна освіта : інноваційні технології та методики : монографія*. За ред. О. А. Дубасенюк. Житомир : Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2009. С. 14–47.
8. Запорожець Т. В. Поглиблення цифрових компетенцій громадян як умова забезпечення їх готовності до використання цифрових можливостей. *Інвестиції : практика та досвід*. 2020. № 4. С. 97–102.
9. Кабакова Л., Мирончук Н. М. Організаційні форми роботи у вищому навчальному закладі. *Модернізація вищої освіти в Україні та за кордоном : зб. наук. пр.* За заг. ред. д. п. н., проф. С. С. Вітвицької, к. п. н., доц. Н. М. Мирончука. Житомир : Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2014. С. 150–154.
10. Лавриненко Л. М. Освіта в реальності сьогодення – дистанційне навчання. Луцьк : МЦНД, 2020. Т. 1. С. 25–28.
11. Литвинова С. Г. Проектування хмаро орієнтованого навчального середовища загальноосвітнього навчального закладу : монографія. Київ : ЦП «Компринт», 2016. 354 с.
12. Мартинець Л. А. Сучасні моделі освіти : навч.-метод. посіб., 2-е вид., доп. та переробл. Донецьк, 2015. 102 с.
13. Медведовська О. Г. Впровадження цифрових технологій в освітній процес в Україні. *Наукові записки ЦДПУ ім. В. Винниченка. Серія : Педагогічні науки*. Вип. 198. Кропивницький, 2021. С. 132–136.
14. Ніколаєв Є., Рій Г., Шемелинець І. Вища освіта в Україні : зміни через війну: аналітичний звіт. Київ : Київський університет імені Бориса Грінченка, 2023. 94 с.
15. Олізько Ю. Міждисциплінарний підхід як засіб реалізації основних дидактичних принципів навчання. *Педагогічний дискурс*. 2015. Вип. 18. С. 161–165.
16. Прибилова В. М. Проблеми та переваги дистанційного навчання у вищих навчальних закладах України. *Збірник наук.-метод. праць ХНУ ім. В. Н. Каразіна*. Харків, 2017. Вип. 4. С. 27–36.
17. Харківська А. А. Формування та розвиток цифрової компетентності педагога в системі навчання впродовж життя – вимога часу. *Проблеми інженерно-педагогічної освіти : зб. наук. пр. Укр. інж.-пед. акад.* Харків : Вид-во УПА, 2020. № 66. С. 98–105.
18. Шилюнова В., Долінська Е., Гладуш В., Махия Т., Бенч О., Дудек М. Застосування цифрових технологій у дистанційному педагогічному оцінюванні здобувачів вищої освіти. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2021. Т. 82, № 2. С. 244–265.
19. Akbar M. Digital Technology Shaping Teaching Practices in Higher Education Front. *ICT*. 17 February 2016. Pp. 1–5. URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fict.2016.00001/full>
20. Lonka K., Cho V. Innovative schools : Teaching & learning in the digital era. Brussels : European Union, 2015.
21. Saykili A. Higher education in the digital age : The impact of digital connective technologies. *Journal of Educational Technology & Online Learning*. 2019. № 2 (1). Pp. 1–15.
22. Spivakovsky A., Vinnyk M., Tarasich Yu., Poltoratskiy M. Design and Development of Information System of Scientific Activity Indicators. *ICTERI-2016*. Vol. 1614. Kyiv, June 21–24, 2016. Pp. 103–110. URL: http://ceur-ws.org/Vol1614/paper_67.pdf

REFERENCES

1. Bykov V.Yu., Spirin O.M. and Shyshkina M.P. *Korporativni informatsiyni systemy pidtrymuvannya naukovo-osvitn'oyi diyal'nosti na bazi khmaro oriyentovanykh servisiv* [Corporate information systems for supporting scientific and educational activities based on cloud-oriented services]. *Problemy ta perspektvy formuvannya natsional'noyi humanitarno-tekhnichnoyi elity* [Problems and Prospects of the Formation of the National Humanitarian and Technical Elite]. 2015, no. 43 (47), pp. 93–121. (in Ukrainian).
2. Bykov V.Yu. and Burov O.Yu. *Tsyfrove navchal'ne seredovyshe: novi tekhnolohiyi ta vymohy do zdobuvachiv znan'* [Digital learning environment: new technologies and requirements for knowledge acquirers]. *Suchasni informatsiyni tekhnolohiyi ta innovatsiyni metodyky navchannya u pidhotovtsi fakhivtsiv : metodolohiya, teoriya, dosvid, problem* [Modern Information Technologies and Innovative Teaching Methods in Training Specialists : Methodology, Theory, Experience, Problems]. 2020, no. 55, pp. 11–21. (in Ukrainian).
3. Bodnar T. *Suchasni praktyky vykorystannya zmishanoho navchannya v ukrayins'kiy vyshchiy shkoli* [Modern practices of using blended learning in Ukrainian higher education]. *Aktual'ni pytannya humanitarnykh nauk* [Current Issues of Humanitarian Sciences]. 2021, no. 45 (1), pp. 161–165. (in Ukrainian).
4. Hlazonova O.H. *Pryntsypy formuvannya "akademichnoyi khmary" suchasnoho universytetu na osnovi vidkrytykh prohramnykh platform* [Principles of formation of the modern university "academic cloud" based on open software

platforms]. *Informatsiyni tekhnolohiyi i zasoby navchannya* [Information Technologies and Teaching Aids]. 2014, no. 5 (43), pp. 174–188. URL: <http://journal.iitta.gov.ua/index.php/itlt/article/view/1096> (in Ukrainian).

5. Honcharenko S.U. *Metodolohichni zasady pobudovy pedahohichnoyi teorii* [Methodological foundations of pedagogical theory construction]. *Profesiyna osvita : pedahohika i psykholohiya* [Professional Education : Pedagogy and Psychology]. Polish–Ukrainian, Ukrainian–Polish : yearbook, 2012, pp. 37–49. (in Ukrainian).

6. “Didzhytalizatsiya” – slovo 2019 roku v Ukrayini [“Digitalization” is the word of 2019 in Ukraine]. URL: <https://itc.ua/news/didzhytalizatsiya-slovo-2019-roku-v-ukrayini-za-versiyeyu-onlajn-slovnika-mislovo/> (in Ukrainian).

7. Dubasenyuk O.A. *Innovatsiyni osviti tekhnolohiyi ta metodyky v systemi profesiyno-pedahohichnoyi pidhotovky*. [Innovative educational technologies and methods in the system of professional and pedagogical training]. *Profesiyna pedahohichna osvita : innovatsiyni tekhnolohiyi ta metodyky : monohrafiya* [Professional Pedagogical Education : Innovative Technologies and Methods : monograph]. 2009, pp. 14–47. (in Ukrainian).

8. Zaporozhets T.V. *Pohlyblennya tsyfrovyykh kompetentsiy hromadyan yak umova zabezpechennya yikh hotovnosti do vykorystannya tsyfrovyykh mozhlyvostey* [Enhancing digital competences of citizens as a condition for ensuring their readiness to use digital opportunities]. *Investytsiyi : praktyka ta dosvid* [Investments : Practice and Experience]. 2020, no. 4, pp. 97–102. (in Ukrainian).

9. Kabakova L. and Myronchuk N.M. *Orhanizatsiyni formy roboty u vyshchomu navchal'nomu zakladi* [Organizational forms of work in a higher educational institution]. *Modernizatsiya vyshchoyi osvity v Ukrayini ta za kordonom : zbirnyk naukovykh prats'* [Modernization of Higher Education in Ukraine and Abroad : collection of scientific works]. 2014, pp. 150–154. (in Ukrainian).

10. Lavrynenko L.M. *Education in today's reality is distance learning*. [Education in today's reality is distance learning]. 2020, vol. 1, pp. 25–28. (in Ukrainian).

11. Lytvynova S.H. *Proektuvannya khmaro oriyentovanoho navchal'noho seredovyshcha zahal'noosvitn'oho navchal'noho zakladu : monohrafiya* [Designing a cloud-oriented learning environment of a general educational institution : monograph]. 2016, 354 p. (in Ukrainian).

12. Martynets L.A. *Suchasni modeli osvity : navch.-metod. posibnyk., 2-e vyd., dopovn. ta pererobl* [Modern Models of Education : teaching method educational and methodological manual, 2nd edition, augmented and revised]. 2015, 102 p. (in Ukrainian).

13. Medvedovska O.H. *Vprovadzhennya tsyfrovyykh tekhnolohiy v osvitiy protses v Ukrayini* [Implementation of digital technologies in the educational process in Ukraine]. *Naukovi zapysky TSDPU im. V. Vynnychenka. Seriya : Pedahohichni nauky* [Scientific Notes of the Central State University named after V. Vynnychenko. Series : Pedagogical Sciences]. 2021, iss. 198, pp. 132–136. (in Ukrainian).

14. Nikolayev Ye., Riy H. and Shemelynets I. *Vyshcha osvita v Ukrayini : zminy cherez viynu: analitychnyy zvit* [Higher Education in Ukraine : Changes Due to the War : analytical report]. 2023, 94 p. (in Ukrainian).

15. Olizko Yu. *Mizhdystsyplinarnyy pidkhid yak zasib realizatsiyi osnovnykh dydaktychnykh pryntsypiv navchannya* [Interdisciplinary approach as a means of implementing the main didactic principles of education]. *Pedahohichnyy dyskurs* [Pedagogical Discourse]. 2015, iss. 18, pp. 161–165. (in Ukrainian).

16. Prybylova V.M. *Problemy ta perevahy dystantsiynoho navchannya u vyshchykh navchal'nykh zakladakh Ukrayiny : zbirnyk nauk.-metod. prats' KHNU im. V.N. Karazina* [Problems and Advantages of Distance Learning in Higher Educational Institutions of Ukraine : collection of scientific and methodical works of KhNU named after V.N. Karazin]. 2017, iss. 4, pp. 27–36. (in Ukrainian).

17. Kharkivska A.A. *Formuvannya ta rozvytok tsyfrovoyi kompetentnosti pedahoha v systemi navchannya vprodovzh zhyttya – vymoha chasu* [The formation and development of a teacher's digital competence in the lifelong learning system is the need of the hour]. *Problemy inzhenerno-pedahohichnoyi osvity : zb. nauk. pr. Ukr. inzh.-ped. akad.* [Problems of Engineering and Pedagogical Education : collection of scientific works of the Ukr. eng.-ped. acad.]. 2020, no. 66, pp. 98–105. (in Ukrainian).

18. Shylonova V., Dolinska E., Hladush V., Makhynya T., Bench O. and Dudek M. *Zastosuvannya tsyfrovyykh tekhnolohiy u dystantsiynomu pedahohichnomu otsynuvanni zdobuvachiv vyshchoyi osvity* [Application of digital technologies in remote pedagogical assessment of students of higher education]. *Informatsiyni tekhnolohiyi i zasoby navchannya* [Information Technologies and Teaching Aids]. 2021, vol. 82, no. 2, pp. 244–265. (in Ukrainian).

19. Akbar M. Digital Technology Shaping Teaching Practices in Higher Education Front. ICT, 17 February 2016, pp. 1–5. URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fict.2016.00001/full>

20. Lonka K. and Cho V. *Innovative schools : Teaching & learning in the digital era*. Brussels : European Union, 2015.

21. Saykili A. Higher education in the digital age : the impact of digital connective technologies. *Journal of Educational Technology & Online Learning*. 2019, no. 2 (1), pp. 1–15.

22. Spivakovsky A., Vinnyk M., Tarasich Yu. and Poltoratskiy M. Design and Development of Information System of Scientific Activity Indicators. *ICTERI-2016*. Vol. 1614, Kyiv, June 21–24, 2016, pp. 103–110. URL: http://ceur-ws.org/Vol1614/paper_67.pdf

Надійшла до редакції: 13.09.2024.

УДК 614.876

DOI: 10.30838/UJCEA.2312.301024.59.1093

РАДІАЦІЙНИЙ ЗАХИСТ ПІД ЧАС ВИКОРИСТАННЯ ДЖЕРЕЛ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ У МЕДИЦИНІ

ГАРМАШ С. М.^{1*}, канд. с.-г. наук, доц.,

ГЕРАСИМЕНКО В. О.², канд. хім. наук, доц.,

СМИРНОВА О. В.³, канд. техн. наук, доц.

^{1*} Кафедра біотехнології та безпеки життєдіяльності, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет», пр. Науки, 8, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (095) 538-71-38, e-mail: svgarmash@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-2658-162X

² Кафедра біотехнології та безпеки життєдіяльності, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет», пр. Науки, 8, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (099) 250-58-65, e-mail: gerasim_vlad@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-3369-4267

³ Кафедра біотехнології та безпеки життєдіяльності, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет», пр. Науки, 8, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (063) 347-85-91, e-mail: email.smirnova@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-9819-7769

Анотація. Постановка проблеми. Використання джерел іонізуючого випромінювання (ДІВ) у медицині необхідне для встановлення діагнозів та лікування пацієнтів, а також заходів із візуалізації і локалізації різних утворень у разі використання радіофармацевтичних препаратів для вивчення функцій та структури органів. Але через використання джерел іонізуючого випромінювання можливі ризики від радіаційного впливу на пацієнтів та персонал. Такі ризики становлять проблеми безпеки у процедурах ядерної медицини. Застосування ДІВ вимагає належного радіаційного захисту відповідно до норм і правил з ядерної та радіаційної безпеки. **Мета статті** – на основі аналітичного огляду світової нормативно-правової та науково-технічної літератури з радіаційної безпеки застосування іонізуючого випромінювання в ядерній медицині опрацювати рекомендації для удосконалення заходів із радіаційної безпеки в медичних закладах України. **Висновки.** Під час проведення медичних досліджень з використанням джерел іонізуючого випромінювання можливі ризики від радіаційного впливу на пацієнтів та персонал. Для радіаційної безпеки слід враховувати: тривалість опромінення, відстань пацієнтів та персоналу від джерела радіації та використання відповідного захисту. Дозиметри для вимірювання сумарної радіаційної дози має носити весь персонал відділення радіології лікарні. Для інтервенційних радіологів свинцеві фартухи та щитки для щитовидної залози – основний засіб радіаційного захисту; їх необхідно постійно носити під час процедури. Рекомендується включити критерії для клінічних аудитів у стандарти та програми акредитації та сертифікації, що стосуються медичної практики з використанням іонізуючого випромінювання. Доцільно запровадити викладання клінічного аудиту в початкову та неперервну освіту та навчальні плани професійної підготовки медичних працівників, включаючи адміністративні та менеджерські профілі. У радіологічних лабораторіях України доцільно впровадити рекомендації комісії ЄС з атомної енергії відповідно до Директиви Ради 2013/59/Євратом. Клінічний аудит медичних радіологічних процедур надасть можливість поліпшити якість та безпеку медичних послуг, а також охорону здоров'я пацієнтів.

Ключові слова: радіологічна лабораторія; радіаційна безпека; світовий досвід; нормативна література; радіаційний захист; рекомендації медичним закладам

RADIATION PROTECTION WHEN USING SOURCES OF IONIZING RADIATION IN MEDICINE

GARMASH S.M.^{1*}, Cand. Sc. (Agr.), Assoc. Prof.,

GERASIMENKO V.O.², Cand. Sc. (Chem.), Assoc. Prof.,

SMIRNOVA O.V.³, Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.

^{1*} Department of Biotechnology and Life Safety, Ukrainian State University of Science and Technology, ESI “Ukrainian State University of Chemical Technology”, 8, Ave. Science, Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (095) 538-71-38, e-mail: svgarmash@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-2658-162X

² Department of Biotechnology and Life Safety, Ukrainian State University of Science and Technology, ESI “Ukrainian State University of Chemical Technology”, 8, Ave. Science, Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (099) 250-58-65, e-mail: gerasim_vlad@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-3369-4267

³Department of Biotechnology and Life Safety, Ukrainian State University of Science and Technology, ESI “Ukrainian State University of Chemical Technology”, 8, Ave. Science, Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (063) 347-85-91, e-mail: email.smirnova@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-9819-7769

Abstract. Problem statement. The use of sources of ionizing radiation (SIR) in medicine is necessary for establishing diagnoses and treating patients, as well as measures for visualization and localization of various formations when using radiopharmaceuticals to study the functions and structure of organs. But when using sources of ionizing radiation, risks from radiation exposure to patients and staff are possible. Such risks are safety concerns in nuclear medicine procedures. The application of SIR requires proper radiation protection in accordance with the norms and rules of nuclear and radiation safety. **Purpose of the article** is to develop recommendations for improving radiation safety measures in medical institutions of Ukraine on the basis of an analytical review of regulatory and scientific and technical literature on radiation safety when using ionizing radiation in nuclear medicine in the countries of the world. **Conclusions.** During medical research using sources of ionizing radiation, risks from radiation exposure to patients and staff are possible. Radiation safety should consider: duration of exposure, distance of patients and staff from the source of radiation and use of appropriate protection. Dosimeters for measuring the total radiation dose must be worn by all personnel of the radiology department of the hospital. For interventional radiologists, lead aprons and thyroid shields are the primary means of radiation protection that must be worn at all times during the procedure. It is recommended that criteria for clinical audits be included in standards and accreditation and certification programs related to medical practice using ionizing radiation. It is advisable to introduce the teaching of clinical audit into the initial and continuing education and curricula of the professional training of medical workers, including administrative and managerial profiles. In the radiological laboratories of Ukraine, it is expedient to implement the recommendations of the EU Atomic Energy Commission in accordance with Council Directive 2013/59/Euratom. Clinical audit of medical radiological procedures will provide an opportunity to improve the quality and safety of medical services, as well as patient health care.

Keywords: *radiological laboratory; radiation safety; world experience; regulatory literature; radiation protection; recommendations for medical institutions*

Постановка проблеми. Застосування джерел іонізуючого випромінювання (ДІВ) у медицині необхідне для встановлення діагнозів та лікування пацієнтів, а також заходів із візуалізації та локалізації різних утворень під час використання радіофармацевтичних препаратів для вивчення функцій та структури органів. Але джерела іонізуючого випромінювання становлять можливі ризики від радіаційного впливу на пацієнтів та персонал. Такі ризики – проблема безпеки у процедурах ядерної медицини. Застосування ДІВ вимагає належного радіаційного захисту відповідно до норм і правил з ядерної та радіаційної безпеки [3].

Аналіз публікацій. Щорічна кількість діагностичних та інтервенційних радіологічних процедур у світі складає понад чотири млрд, радіотерапія використовується для лікування до 50 % онкохворих [1]. Велике значення має нормування, ліцензування та нагляд у сфері використання ядерної енергії.

Наразі в радіологічних лабораторіях медичних закладів діють нормативно-правові документи в галузі радіаційного захисту: Закон України «Про захист людини

від впливу іонізуючого випромінювання» [14]; Закон України «Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку» [15]; Закон України «Основи законодавства України про охорону здоров'я» [12]; Закон України «Про дозвільну діяльність у сфері використання ядерної енергії» [16]; «Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України» [11]; «Норми радіаційної безпеки України. Забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення в планових ситуаціях опромінення» [19]; Наказ МОЗ України «Про затвердження Державних санітарних правил і норм щодо поведінки з медичними відходами» [17]; Наказ про затвердження «Порядку проведення навчання і перевірки знань з питань радіаційної безпеки у персоналу і посадових осіб суб'єктів окремих видів діяльності у сфері використання ядерної енергії» [18].

Також у відділеннях радіології слід керуватися наказами та розпорядженнями місцевих органів управління з охорони здоров'я, наказами та вказівками МОЗ України, управлінь охорони здоров'я облдержадміністрацій, органів санепіднагляду та радіаційного контролю,

адміністрації закладу, а також рекомендаціями головних позаштатних спеціалістів з радіонуклідної та ультразвукової діагностики та положеннями про радіологічні відділення медичних закладів.

Відомо, що у світі людина отримує дози радіації 3 мЗв/рік з техногенних джерел, в основному під час медичної візуалізації. Для медичних діагностичних процедур використовують дози, недостатні для появи променевого ураження, але існує незначне теоретичне збільшення ризику розвитку раку. Під час проведення променевої терапії можливе пошкодження нормальних тканин цільового органу.

Опромінення будь-якого органу може мати як гострі, так і хронічні наслідки, що виникають унаслідок такої терапії. Так, тривалий вплив рентгенівського випромінювання під час інтервенційних процедур може спричинити променеве ураження шкіри [1].

Відповідно до [13], медичний заклад у процесі використання рентгенівських апаратів повинен забезпечити мінімальне опромінення пацієнта, необхідне для досягнення діагностичної мети, за умови отримання максимальної якості зображення.

У Франції аналіз дозиметричних даних виявив найбільш опромінених медичних працівників серед лікарів та радіологів-технологів відділень ядерної медицини; встановлено тенденцію сталого зниження радіаційного впливу [2].

У 2013 році прийнята Директива ради Європейського союзу (ЄС) 2013/59/Євратом «Про встановлення основних норм безпеки для захисту від загроз, зумовлених впливом іонізуючого випромінювання» [4]. У квітні 2024 року комісія ЄС з атомної енергії розробила рекомендації відповідно до цієї Директиви [3].

Рекомендації враховують позиції, висунуті керівною групою з питань якості та безпеки медичних застосувань іонізуючого випромінювання («SGQS») [5], мета якої – підтримка впровадження в державах-членах заходів у сфері якості та безпеки медичного застосування іонізуючого випромінювання.

Держави-члени повинні підтримувати доступ до даних пацієнта в обсязі, необхідному для проведення клінічних аудитів, використовуючи за необхідності анонімні дані, у повній відповідності з вимогами Регламенту Європейського Парламенту та Ради [7]. В інтервенційній радіології важливо приділяти пріоритетну увагу радіаційній безпеці та мінімізувати дози іонізуючого випромінювання, які отримують пацієнти та персонал [10].

Проект нового Закону України «Про радіаційний захист» (2021 р.) розроблено з метою імплементації положень Директиви Ради 2013/59/Євратом щодо оптимізації заходів захисту та безпеки під час медичного опромінення; запровадження планового, існуючого та аварійного опромінення; еквівалентної дози та граничних доз у ситуації планового опромінення для персоналу та населення; встановлення основних принципів радіаційного захисту, визначення заходів радіаційного захисту на робочих місцях тощо [20].

Для досягнення радіаційного захисту застосовують три основні принципи: час, відстань та екранування [9]. Радіаційний захист можна забезпечити також за допомогою різних засобів індивідуального захисту, у тому числі свинцево-акрилових щитків – пересувних, переносних тощо [8].

Мета статті – на основі аналітичного огляду світової нормативно-правової та науково-технічної літератури з радіаційної безпеки застосування іонізуючого випромінювання в ядерній медицині опрацювати рекомендації для удосконалення заходів із радіаційної безпеки в медичних закладах України.

Результати досліджень. Результати аналітичного огляду використаних джерел свідчать про актуальність підвищення радіаційної безпеки у медичних закладах. У радіологічних лабораторіях застосовується сучасна нормативна документація в галузі ядерної медицини: закони, санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки, накази Міністерства охорони здоров'я, рекомендації директив ради Європейського

союзу про безпеку медичного застосування іонізуючого випромінювання та ін.

Закон України «Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку» наголошує, що один з основних принципів державної політики у сфері використання ядерної енергії та радіаційного захисту – це пріоритет захисту людини та довкілля від впливу іонізуючого випромінювання [15].

Клінічний аудит повинен бути основним елементом існуючої інфраструктури охорони здоров'я. Міжнародні організації розробили передову практику, рекомендації та різноманітні ресурси, що стосуються клінічних аудитів, включаючи приклади, практичні рекомендації та посібники з медичних дисциплін радіології, радіотерапії та ядерної медицини [3].

Будь-який метод візуалізації, що використовує рентгенівські промені, виробляє іонізуюче випромінювання, яке може пошкоджувати біологічні тканини. Гаслом використання іонізуючого випромінювання в діагностичній медицині є принцип ALARA (as low as reasonably achievable – настільки мало, наскільки потрібно для досягнення мети). Для гарантування радіаційної безпеки слід враховувати: тривалість опромінення, відстань пацієнтів та персоналу від джерела радіації та використання відповідного захисту [10].

Так, радіаційний захист у радіологічних

лабораторіях Франції ґрунтується на виявленні ситуацій ризику залежно від професії та медичного відділу, а також на оптимізації опромінення. У кожній лікарні передбачено заходи радіаційного захисту та безпеки, проводяться спостереження за опроміненням та здоров'ям медичних працівників. Тривалий епідеміологічний нагляд за цими працівниками дозволить оцінити потенційні віддалені наслідки радіаційного впливу малих доз та поглибити знання про радіаційний захист [2].

Рекомендується включити критерії для клінічних аудитів у стандарти та програми акредитації та сертифікації, що стосуються медичної практики з використанням іонізуючого випромінювання. Доцільно запровадити викладання клінічного аудиту в початкову та неперервну освіту та навчальні плани професійної підготовки медичних працівників, включаючи адміністративні та менеджерські профілі [5].

У проєкті нового Закону України «Про радіаційний захист» наведено ліміти доз професійного опромінення в ситуаціях планового, професійного, аварійного опромінення, ліміти доз професійного опромінення для окремих категорій осіб, граничні дози професійного, медичного опромінення та опромінення населення [20]. Ліміти доз професійного опромінення наведені у таблиці.

Таблиця

Ліміти доз професійного опромінення в ситуаціях планового опромінення, мЗв/рік [20]

Ефективна доза	Ефективна доза для кришталика ока	Ефективна доза для шкіри	Ефективна доза для кінцівок (кисті, передпліччя, стопи та гомілки)
20 ¹⁾	20 ²⁾	500 ³⁾	500

Примітки:

¹⁾ допускається до 50 мЗв за один рік, за умови, що середня річна доза опромінення протягом п'яти послідовних років (у тому числі років із перевищенням ліміту) становитиме не більше 20 мЗв;

²⁾ допускається 100 мЗв протягом п'яти послідовних років, за умови, що максимальна річна доза опромінення становитиме 50 мЗв за окремий рік;

³⁾ усереднена доза опромінення для ділянки шкіри в 1 см², незалежно від того, яку ділянку опромінено.

Рекомендовано використовувати два дозиметри: один під фартухом і один на комірці над свинцевим фартухом [10]. Загальний час рентгеноскопії можна скоротити за рахунок оптимізації кількості рентгеноскопичних зображень, кількості рентгенівських імпульсів, що генеруються

на одне зображення, кількості проходів, а також їх тривалості і частоти кадрів. Збільшення відстані від джерела радіації також може знизити радіаційну дію, оскільки величина радіаційного впливу обернено пропорційна квадрату відстані. Дозиметри для вимірювання сумарної

радіаційної дози має носити весь персонал відділення радіології лікарні. Дозиметри носять зовні і під свинцевим фартухом для порівняння доз. Підвищення обізнаності щодо важливості дозиметрії має бути пріоритетом для відділів охорони праці та радіаційної безпеки у системах охорони здоров'я [10].

Свинцеві фартухи та щитки для щитоподібної залози – основний засіб радіаційного захисту для інтервенційних радіологів, і їх слід постійно носити під час процедури. Радіаційний захист, що забезпечується цими свинцевими фартухами, аналогічний захисту свинцю товщиною від 0,25 до 1 мм. Зниження розсіяного випромінювання на 90 % та більше спостерігається під час використання свинцевих фартухів завтовшки 0,5 мм. Вони особливо рекомендуються для персоналу, який щомісяця отримує показання радіаційного монітора на комірці вище 4 мЗв та у віці до 40 років через ризик радіаційно-індукованого раку щитоподібної залози.

У кабінетах для рентгеноскопії доцільно застосовувати свинцево-акрилові щитки, підвішені до стелі, які дозволяють знизити дози опромінення голови і шиї в 10 разів. Переносні та пересувні щитки, які не потребують стаціонарного встановлення, можуть захистити персонал в операційних та інтервенційних приміщеннях. Ці мобільні щитки за умови правильного використання знижують ефективну дозу радіації для персоналу більш ніж на 90 % [8].

У радіологічних лабораторіях України, де використовують комп'ютерну томографію, повинна проводитися систематична оцінка ризику робочого середовища у відділенні та аналіз умов праці з метою виявлення потенційних небезпек і визначення заходів щодо їх запобігання. Також повинні бути розроблені та впроваджені стандарти безпеки процедур та інструкції, які регулюють робочі процеси використання обладнання з метою мінімізації ризиків.

У такому відділенні повинні бути наявні документовані стандартні оперативні процедури, що містять поетапні інструкції, яких повинен неухильно

дотримуватися персонал. Зважаючи на вимоги нормативних актів, слід систематично проводити навчання та підвищення кваліфікації працівників із питань охорони праці, радіаційної безпеки, надзвичайних ситуацій, правил роботи з радіоактивними матеріалами, методів радіаційного захисту, порядком використання дозиметрів для контролю радіаційного опромінення та ін.

У кожному радіологічному відділенні клінічної лікарні має діяти система управління охороною праці під час проведення радіонуклідних та радіоімунних досліджень і лікування пацієнтів радіологічними фармпрепаратами (РФП); ультразвукового обстеження пацієнтів; проведення дозиметричного контролю пролікованих пацієнтів; променевої терапії з використанням радіоактивних препаратів (Na^{131}I , $^{89}\text{SrCl}_2$), тимчасово введених в організм хворого; сканування щитоподібної залози; біопсії під контролем ультразвукової діагностики; радіоімуннологічного визначення гормонів, антитіл, антигенів тощо.

Висновки.

Під час проведення медичних досліджень із використанням джерел іонізуючого випромінювання можливі ризики від радіаційного впливу на пацієнтів та персонал. Для радіаційної безпеки слід враховувати: тривалість опромінення, відстань пацієнтів та персоналу від джерела радіації та використання відповідного захисту.

Дозиметри для вимірювання сумарної радіаційної дози має носити весь персонал відділення радіології лікарні. Для інтервенційних радіологів свинцеві фартухи та щитки для щитоподібної залози – основні засоби радіаційного захисту, які необхідно постійно носити під час процедури.

Рекомендується включити критерії для клінічних аудитів у стандарти та програми акредитації та сертифікації, що стосуються медичної практики з використанням іонізуючого випромінювання.

Доцільно запровадити викладання клінічного аудиту у початкову та

неперервну освіту та навчальні плани професійної підготовки медичних працівників, включаючи адміністративні та менеджерські профілі.

У радіологічних лабораторіях України доцільно впровадити рекомендації Комісії ЄС з атомної енергії відповідно до

Директиви Ради 2013/59/Євратом. Клінічний аудит медичних радіологічних процедур надасть можливість поліпшити якість та безпеку медичних послуг, а також охорону здоров'я пацієнтів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Balter S., Hopewell J. W., Miller D. L. et al. Fluoroscopically guided interventional procedures : a review of radiation effects on patients' skin and hair. *Radiology*. 2010. № 254 (2). Pp. 326–341.
2. Baudin C., Vacquier B., Thin G., Chenene L. Occupational exposure to ionizing radiation in medical staf. *European Radiology*. 2023. № 33. Pp. 5675–5684.
3. Commission Recommendation 2024/1112 of 18 April 2024 on clinical audits of medical radiological practices carried out pursuant to Council Directive 2013/59. *Euratom : Official Journal of the European Union*. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32024H1112>
4. Council Directive 2013/59/Euratom of 5 December 2013 laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation. *Euratom: Official Journal of the European Union*. OJ L 13, 17.1.2014. P. 1. URL: <http://data.europa.eu/eli/dir/2013/59/oj>
5. HERCA Position Paper Clinical Audit in medical Radiological practices. Addendum to the HERCA clinical audit position paper. June 2021. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=OJ:L_202401112
6. López P. O., Dauer L. T., Loose R., Martin C. J., Miller D. L., Vañó E., Doruff M., Padovani R., Massera G., Yoder C. Occupational Radiological Protection in Interventional Procedures. *Ann ICRP*. 2018 Mar. № 47 (2). Pp. 1–118.
7. Radiation Protection 198 “Current Status and Recommendations for Improving Uptake and Implementation of Clinical Audit of Medical Radiological Procedures”. *European Commission*. 2022. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=OJ:L_202401112
8. Shaimaa M., Mohamed M., Yasmin I. Radiation safety compliance awareness among healthcare workers exposed to ionizing radiation. *Allam et al. BMC Nursing*. 2024. 23:208.
9. Tsapaki V., Balter S., Cousins C., Holmberg O., Miller D. L., Miranda P., Rehani M., Vano E. The International Atomic Energy Agency action plan on radiation protection of patients and staff in interventional procedures : achieving change in practice. *Phys. Med*. 2018 Aug. № 52. Pp. 56–64.
10. Tushar Garg, Apurva Pravin. Shrigiriwar Radiation Protection in Interventional Radiology. *The Indian Journal of Radiology and Imaging*. January 2022. № 10; 31 (4). Pp. 939–945.
11. ДСП 6.177-2005-09-02. Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України. ОСПУ-2005. Київ : Міністерство охорони здоров'я України, 2021. [Чинний від 05.02.2021].
12. Закон України «Основи законодавства України про охорону здоров'я». *Відомості Верховної Ради України*. 1993. № 4. Ст.19, із змінами № 3622-IX від 21.03.2024.
13. Загальні правила радіаційної безпеки використання джерел іонізуючого випромінювання у медицині. Затв. наказом Державної інспекції ядерного регулювання України, МОЗ України 16.02.2017. № 51/151.
14. Закон України «Про захист людини від впливу іонізуючого випромінювання». *Відомості Верховної Ради України*. 1998. № 22. Ст. 115. із змінами № 3344-IX від 23.08.2023.
15. Закон України «Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку». *Відомості Верховної Ради України*. 1995. № 12. Ст. 81.
16. Закон України «Про дозвільну діяльність у сфері використання ядерної енергії» із змінами і доповненнями від 15 травня 2003 року № 747-IV. [Чинний від 11.01.2000].
17. Наказ МОЗ України № 1602 від 06.09.2022 «Про затвердження Державних санітарних правил і норм щодо поводження з медичними відходами».
18. Наказ Державної інспекції ядерного регулювання України «Про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань радіаційної безпеки у персоналу і посадових осіб суб'єктів окремих видів діяльності у сфері використання ядерної енергії». № 342 від 18 серпня 2020 р.
19. НРБУ-2021-П. Норми радіаційної безпеки України. Забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення в планових ситуаціях опромінення.
20. Проект Закону України «Про радіаційний захист». Вноситься Кабінетом Міністрів України, 2021. URL: <https://snriu.gov.ua/news/proyekt-zakonu-ukrayini-pro-radiacijnij-zahist> (дата звернення: 27.06.2022).

REFERENCES

1. Balter S., Hopewell J.W., Miller D.L. et al. Fluoroscopically guided interventional procedures : a review of radiation effects on patients' skin and hair. *Radiology*. 2010, no. 254 (2), pp. 326–341.

2. Baudin C., Vacquier B., Thin G. and Chenene L. Occupational exposure to ionizing radiation in medical staf. *European Radiology*. 2023, no. 33, pp. 5675–5684. URL: <https://doi.org/10.1007/s00330-023-09541-z>
3. Commission Recommendation 2024/1112 of 18 April 2024 on clinical audits of medical radiological practices carried out pursuant to Council Directive 2013/59. *Euratom : Official Journal of the European Union*. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=OJ:L_202401112
4. Council Directive 2013/59/Euratom of 5 December 2013 laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation. *Euratom : Official Journal of the European Union*. OJ L 13, 17.1.2014, p. 1. URL: <http://data.europa.eu/eli/dir/2013/59/oj>
5. HERCA Position Paper Clinical Audit in medical Radiological practices (October 2019). Addendum to the HERCA clinical audit position paper (June 2021). URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ:L_202401112#ntr6-L_202401112EN.000101-E0006
6. López P.O., Dauer L.T., Loose R., Martin C.J., Miller D.L., Vañó E., Doruff M., Padovani R., Massera G. and Yoder C. Occupational Radiological Protection in Interventional Procedures. *Ann ICRP*. 2018 Mar., no. 47 (2), pp. 1–118.
7. Radiation Protection 198 “Current Status and Recommendations for Improving Uptake and Implementation of Clinical Audit of Medical Radiological Procedures”. European Commission. 2022. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ:L_202401112#ntc3-L_202401112EN.000101-E0003
8. Shaimaa M., Mohamed M. and Yasmin I. Radiation safety compliance awareness among healthcare workers exposed to ionizing radiation. *Allam et al. BMC Nursing*, 2024, no. 23:208.
9. Tsapaki V., Balter S., Cousins C., Holmberg O., Miller D.L., Miranda P., Rehani M. and Vano E. The International Atomic Energy Agency action plan on radiation protection of patients and staff in interventional procedures : achieving change in practice. *Phys. Med*. 2018 Aug, no. 52, pp. 56–64.
10. Tushar Garg and Apurva Pravin. Shrigiriwar Radiation Protection in Interventional Radiology. *The Indian Journal of Radiology and Imaging*. January 2022. DOI: 10.1055/s-0041-1741049.
11. DSP 6.177-2005-09-02. *Osnovni sanitarni pravila zabezpechennya radiacijnoyi bezpeki Ukrayini* [Basic sanitary rules for ensuring radiation safety in Ukraine]. OGPU-2005. Kyiv : Ministry of Health of Ukraine, 2021. [Effective from 02/05/2021]. (in Ukrainian).
12. *Zakon Ukrainy “Osnovy zakonodavstva Ukrainy pro okhoronu zdorovia”* [Law of Ukraine “Fundamentals of Ukrainian legislation about health protection”. *Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy* [Information of the Verkhovna Rada of Ukraine]. 1993, no. 4, art. 19, with changes, no. 3622-IX from 21.03.2024. (in Ukrainian).
13. *Zagalni pravila radiacijnoyi bezpeki vikoristannya dzherel ionizuyuchogo viprominyuvannya u medicini* [General rules of radiation safety for the use of ionizing radiation sources in medicine]. Approval by order of the State Nuclear Regulation Inspection of Ukraine, Ministry of Health of Ukraine, 16.02.2017, no. 51/151. (in Ukrainian).
14. *Zakon Ukrainy “Pro zahist lyudini vid vplivu ionizuyuchogo viprominyuvannya”* [The Law of Ukraine “About the Protection of Humans from the Effects of Ionizing Radiation”]. *Vidomosti Verhovnoyi Radi Ukrainy* [Information of the Verkhovna Rada of Ukraine]. 1998, no. 22, art. 115., no. with changes 3344-IX from 23.08.2023. (in Ukrainian).
15. *Zakon Ukrainy “Pro vikoristannya yadernoyi energiyi ta radiacijnu bezpeku”* [Law of Ukraine “About the use of nuclear energy and radiation safety”]. *Vidomosti Verhovnoyi Radi Ukrainy* [Information of the Verkhovna Rada of Ukraine]. 1995, no. 12, art. 81. (in Ukrainian).
16. *Zakon Ukrainy “Pro dozvilnu diyalnist u sferi vikoristannya yadernoyi energiyi”* [Law of Ukraine “About Permitting Activities in the Field of Nuclear Energy Use”] (with changes and add. from 15 May 2003 no. 747-IV. [Valid from 11.01.2000]. (in Ukrainian).
17. *Nakaz MOZ Ukrainy № 1602 vid 06.09.2022 “Pro zatverdzhennya Derzhavnih sanitarnih pravil i norm shodo povodzhennya z medichnimi vidhodami”* [Order of the Ministry of Health of Ukraine no. 1602 dated September 6, 2022 “About the approval of the State sanitary rules and regulations regarding the treatment of medical waste”]. (in Ukrainian).
18. *Nakaz Derzhavnoyi inspektsiyi yadernogo reguluyuvannya Ukrainy “Pro poryadok provedennya navchannya i perevirki znan z pitan radiacijnoyi bezpeki u personalu i posadovih osib sub'yektiv okremih vidiv diyalnosti u sferi vikoristannya yadernoyi energiyi”* [Order of the State Inspection of Nuclear Regulation of Ukraine “About the procedure for conducting training and testing knowledge on radiation safety issues among personnel and officials of subjects of certain types of activities in the field of nuclear energy use”]. No. 342 from 18 August 2020. (in Ukrainian).
19. *NRBU-2021-P. Normi radiacijnoyi bezpeki Ukrainy. Zabezpechennya sanitarnogo ta epidemichnogo blagopoluchchya naseleння v planovih situatsiyah oprominennya* [Radiation safety standards of Ukraine. Ensuring sanitary and epidemic well-being of the population in planned exposure situations]. (in Ukrainian).
20. *Proekt Zakonu Ukrainy “Pro radiacijnij zahist”* [Draft Law of Ukraine “About Radiation Protection”] Submitted by the Cabinet of Ministers of Ukraine, 2021. URL: <https://snriu.gov.ua/news/proyekt-zakonu-ukrayini-pro-radiacijnij-zahist> (date of application : 27.06.2024). (in Ukrainian).

Надійшла до редакції: 07.09.2024.

УДК 691

DOI: 10.30838/UJCEA.2312.301024.66.1094.1

ФОРМУВАННЯ ГІДРАТНИХ СПОЛУК СИСТЕМИ $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ ЗА ГІДРАТАЦІЇ МІНЕРАЛІВ АЛЮМІНАТНИХ ЦЕМЕНТІВ

ДЕРЕВ'ЯНКО В. М.¹, докт. техн. наук, проф.,

ГРИШКО Г. М.^{2*}, канд. техн. наук, доц.,

ДУБОВ Т. М.³, канд. техн. наук, доц.

¹ Кафедра технології будівельних матеріалів, виробів та конструкцій, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 47-16-22, e-mail: viktorderevianko2017@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-9733-9558

^{2*} Кафедра цивільної інженерії, технологій будівництва і захисту довкілля, Дніпровський державний аграрно-економічний університет, вул. Сергія Єфремова, 25, 49600, Дніпро, Україна, e-mail: hryshko.hanna@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0009-0002-3872-6555

³ Кафедра цивільної інженерії, технологій будівництва і захисту довкілля, Дніпровський державний аграрно-економічний університет, вул. Сергія Єфремова, 25, 49600, Дніпро, Україна, e-mail: dubov.t.m@dsau.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-1740-9251

Анотація. Постановка проблеми. Використання добавок-модифікаторів та дослідження їх впливу на термодинамічну і гідродинамічну стабільність структури твердіння еtringіту $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ сприятиме підвищенню водостійкості, поліпшенню технологічних факторів, що, у свою чергу сприятиме розширенню сфери застосування композитів на їх основі. Регулюючи водотверде відношення, можна керувати властивостями вихідного композиту: отримувати необхідну структуру та водостійкість. Дослідження впливу добавок на композити системи $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SO}_3 - \text{H}_2\text{O}$ та наступне розроблення їх складів дасть можливість керувати процесами гідратації, формувати високоосновний еtringіт, кількість хімічно зв'язаної води в якому досягає 46 %. **Мета** – дослідження щодо розроблення еtringітової фази на основі алюмінатних цементів. **Висновки.** Стабілізацію еtringіту композиту оптимального складу – 70 % глиноземистого цементу та 30 % гіпсу – визначали за результатами топонімічних реакцій переходу системи з макро- в мікро- та наносистему зі зміною часу, проводячи рентгенофазовий аналіз через 3, 7, 14 та 28 діб. За вибраною методикою досліджень відбувалася модифікація напівводного гіпсу глиноземистим цементом. Експериментальним шляхом встановлено оптимальну кількість модифікатора – 70 % глиноземистого цементу, яка необхідна для підвищення фізико-механічних властивостей, а також формування необхідного мінералогічного складу модифікованого в'язучого. За гідратації модифікованих в'язучих речовин на основі глиноземистого цементу та гіпсу відбувається утворення еtringіту, який дав можливість сформувати необхідну структуру та основні фізико-механічні властивості.

Ключові слова: композиційне в'язуче; модифікація; добавка; еtringіт; стабілізація еtringітової фази; алюмінатні цементи; сульфоалюмінатні цементи

FORMING HYDRATE COMPOUNDS SYSTEM $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ DURING THE ALUMINATE CEMENT MINERALS HYDRATION

DEREVIANKO V.M.¹, Dr. Sc. (Tech.), Prof.,

HRyshko H.M.^{2*}, Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.,

DUBOV T.M.³, Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.

¹ Department of Technology of Construction Materials, Products and Designs, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Architect Oleh Petrov Str., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-16-22, e-mail: viktorderevianko2017@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-9733-9558

^{2*} Department of Civil Engineering, Construction Technologies and Environmental Protection, Dnipro State Agrarian-Economic University, 25, Serhii Efremov St., Dnipro, 49600, Ukraine, e-mail: hryshko.hanna@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0009-0002-3872-6555

³ Department of Civil Engineering, Construction Technologies and Environmental Protection, Dnipro State Agrarian-Economic University, 25, Serhii Efremov St., Dnipro, 49600, Ukraine, e-mail: dubov.t.m@dsau.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-1740-9251

Abstract. Problem Statement. The use of modifying additives and research of their influence on the thermodynamic and hydrodynamic stability of the solidification structure of $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{CaSO}_4\cdot 32\text{H}_2\text{O}$ ettringite will lead to an increase in water resistance, improvement of technological factors, which in turn will contribute to the expansion of the scope of application of composites based on such additives. By means of adjusting the water-solid ratio, you can control properties of the initial composite: you can obtain the necessary structure and water resistance. Research of the effect caused by additives on the composites of the $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SO}_3-\text{H}_2\text{O}$ system and the subsequent development of their compositions will provide an opportunity to control the hydration processes, form highly basic ettringite with the amount of chemically bound water in it reaching 46 %. **Purpose of the article** – to conduct a research on modification of the ettringite phase aimed at increasing its stability. **Conclusions.** Stabilization of ettringite composite of optimal composition (70 % of alumina cement and 30 % of gypsum) was determined based on the results of toponymic reactions of transition of the system from the macro-system to the micro- and nanosystem when changing time, by conducting X-ray phase analysis after 3, 7, 14 and 28 days. According to the selected research methodology, semi-aqueous gypsum was modified with alumina cement. Experimentally determined was optimal amount of the modifier (70 % of alumina cement) which is necessary to increase physical and mechanical properties, as well as to form necessary mineralogical composition of the modified binder. During hydration of modified binders based on alumina cement and gypsum, formation of ettringite occurs, which makes it possible to form the necessary structure and basic physical and mechanical properties.

Keywords: composite binder; modification; additive; ettringite; ettringite phase stabilization; aluminate cements; sulfoaluminate cements

Актуальність проблеми. Проведений аналіз результатів досліджень у галузі бетонознавства підтверджує, що необхідністю сьогодення стало створення цементної матриці з регулюванням процесів структуроутворення на макро-мікро- та нанорівнях, що дозволить одержати нові за складом та структурою будівельні матеріали з поліпшеними міцносними характеристиками.

Основні пошукові роботи під час розроблення таких цементів здійснюються у напрямку створення нових композицій із заміною дефіцитних компонентів. За такого речовинного складу вартість таких цементів незначно перевищує рядові, але їх властивості дозволяють заміну сульфоалюмінатних цементів у будівництві.

Узагальнивши нагромаджений досвід, зазначаємо, що нові ефективні сульфоалюмінатні композиції можна отримати на основі гіпсу та відходів виробництва. Модифікування сульфатів кальцію дасть змогу цілеспрямовано регулювати швидкість його гідратації та узгодити в часі структуроутворення цементного каменю.

Дослідження направлені на створення сульфоалюмінатних та алюмінатних в'язучих речовин на основі композицій глиноземистого цементу та гіпсу, а виробництво розчинів на їх основі бачиться актуальним.

Мета роботи – провести дослідження щодо розроблення еtringітової фази на основі алюмінатних цементів.

Аналіз літератури. Алюмінатний і сульфоалюмінатний клінкери – полімінеральні та полікристалічні продукти.

Вивчення взаємодії алюмінатів кальцію з гіпсом за температурі 1 200 °C проводилися в роботі [1], в результаті досліджень встановлено, що в процесі високотемпературних взаємодій утворюється сполука $n\text{Ca}\cdot\text{SO}_4$, де n коливається в межах 1,6–3,6.

Вміст кристалізаційної води в еtringіті ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{CaSO}_4\cdot 32\text{H}_2\text{O}$) змінюється залежно від зміни умов навколишнього середовища. У процесі нагрівання еtringіт стабільний до 65 °C, у вологих умовах – до 93 °C. Зміна вмісту кристалізаційної води відбувається в межах 10–12 %.

У праці [2] детально вивчено процес дегідратації еtringіту і роль води в його структурі. Швидкість утворення еtringіту підвищується зі збільшенням основності алюмінату кальцію [2].

За даними досліджень [3], через одну добу спостерігається повне зв'язування гіпсу за гідратації C_3A з гіпсом, при зв'язуванні C_4A – 3 доби, а C_4A_2 – 28 діб твердіння у воді. Встановлено, що морфологія кристалів ГСАК залежить від складу вихідного алюмінату кальцію. ГСАК, який одержали із C_3A , має вигляд тонких

голок із нормальним показником світлопереломлення, із СА – пластинок, із C_5A_3 – товстих брусків [3].

Вивчаючи структуру системи $CaO-Al_2O_3$, відмічаємо вплив води на рівновагу даної системи. Між C_3A та СА в умовах сухої атмосфери утворюється евтектика, за звичної вологості з'являється склад проміжний між $C_{12}A_7$ і $C_{12}A_7H$, який за температури $1392^\circ C$ плавиться в однорідну рідину з виділенням пари води. Це пояснюється тим, що координація іонів Ca^{2+} нерегулярна [4].

Співвідношення різних форм еtringіту визначаються вмістом гіпсу в вихідній сировинній суміші і стабільністю температури гідратації. З підвищенням температури вміст еtringіту збільшується, а його стабільність зменшується [5].

Автори [6] встановили, що не залежно від співвідношення між гіпсом і C_3A у водному середовищі енергетично краще утворення високосульфатної форми ГСАК.

За даними праць [7; 8], ГСАК із часом здатний до часткового переходу в аморфну форму з утворенням кальциту. Зазначається, що відбувається руйнування кристалів ГСАК за довговічного твердіння: в бетоні довговічного твердіння ГСАК не знаходиться [7; 8].

Гідратація C_3A за присутності гіпсу спочатку супроводжується утворенням еtringіту, гідроалюмінату кальцію C_4AH_{13} і гідроксиду алюмінію, а далі утворюється тільки еtringіт і $Al(OH)_3$ [8].

Результати досліджень. Методика дослідження гіпотези впливу поверхні Гіббса на формування мінералів системи композиційного в'язучого полягає у визначенні впливу $y = f(C/A)$, для чого використано методику зміни мінералогічного складу в часі за допомогою рентгенівського апарату.

Дослідження процесів гідратації системи з $C_3A-C\dot{S}H_2$ в часі (3, 7, 14, 28 діб) з метою визначення формування еtringіту та інших мінералів (рис. 1–4) дають можливість визначити їх вплив на властивості композиційних в'язучих речовин.

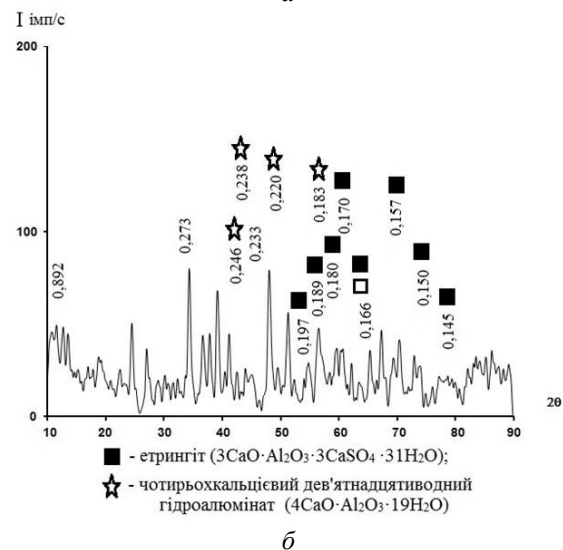
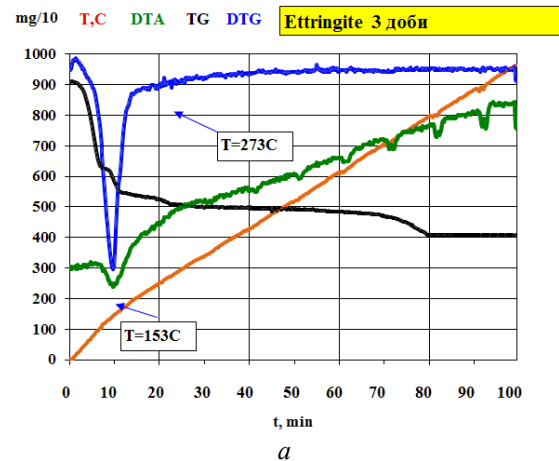


Рис. 1. Криві ДТА (а) та рентгенівська дифрактограма (б) зразків, виготовлених із композиції $C_3A-C\dot{S}H_2$ на 3-тю добу твердіння

На дифрактограмі затверділого композиту $C_3A-C\dot{S}H_2$ з'являються через 3 доби твердіння основні лінії гідратних фаз еtringіту ($d/n = 0,892; 0,273; 0,260; 0,245; 0,241; 0,233; 0,197; 0,189; 0,180; 0,170; 0,166; 0,163; 0,157; 0,150; 0,145$ нм), чотирикальцієвого дев'ятнадцятиводного гідроалюмінату ($d/n = 0,246; 0,238; 0,220; 0,183$ нм) (рис. 3, 5). Через 28 діб твердіння основні міжплощинні відстані і інтенсивності гідратних фаз еtringіту ($d/n = 0,475; 0,399; 0,327; 0,2773; 0,2680; 0,225; 0,2130; 0,189; 0,187; 0,180; 0,166; 0,162; 0,155$ нм), (рис. 4). Спостерігаються лінії чотирикальцієвого дев'ятнадцятиводного гідроалюмінату ($d/n = 0,475; 0,248; 0,207; 0,197; 0,164$ нм), (рис. 1–4).

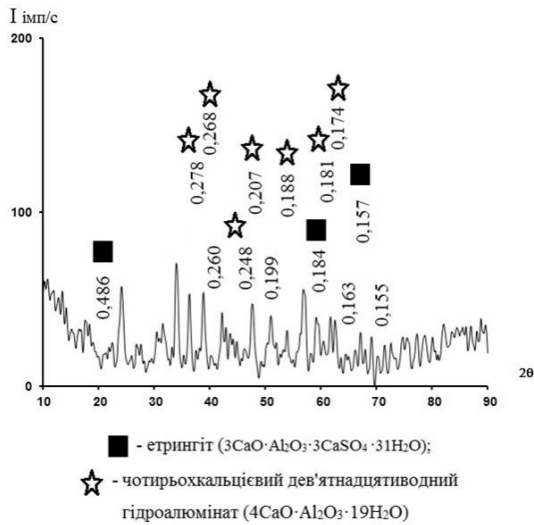
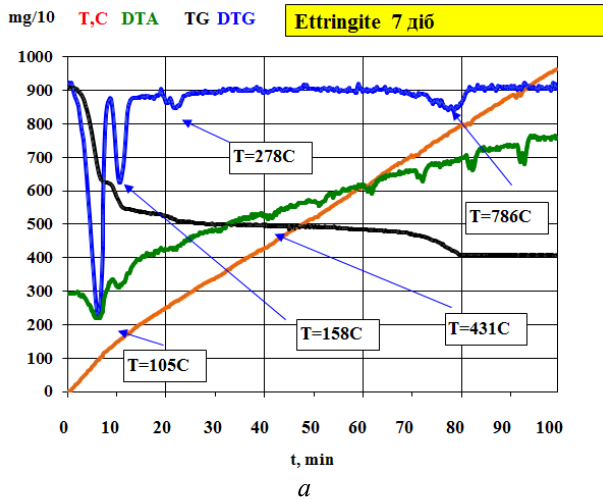


Рис. 2. Криві ДТА (а) та рентгенівська дифрактограма зразків, виготовлених із композиції $C_3A-C\bar{S}H_2$ на 7-му добу твердіння

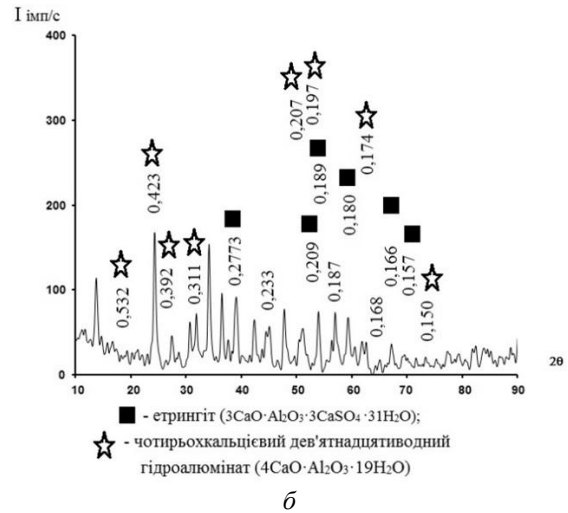
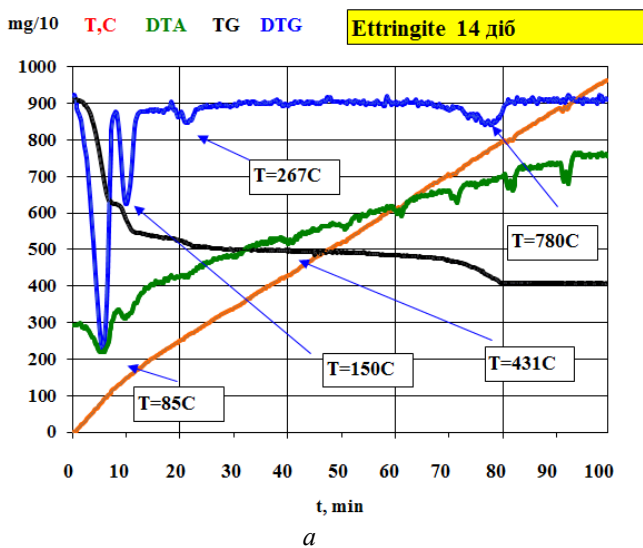


Рис. 3. Криві ДТА (а) та рентгенівська дифрактограма (б) зразків, виготовлених із композиції $C_3A-C\bar{S}H_2$ на 14-ту добу твердіння

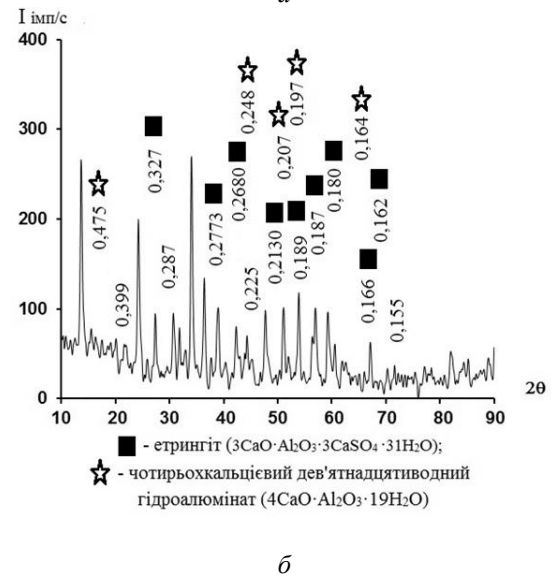
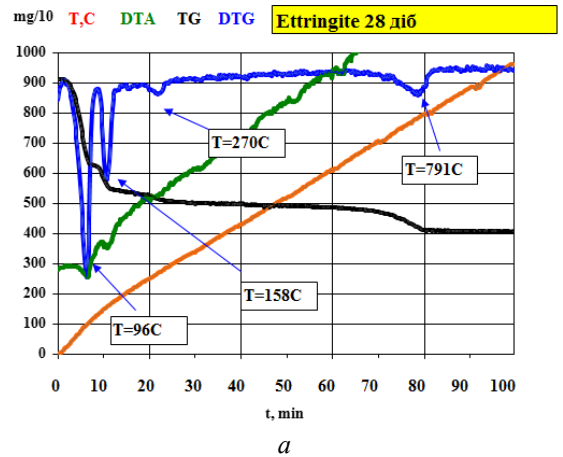


Рис. 4. Криві ДТА (а) та рентгенівська дифрактограма (б) зразків, виготовлених із композиції $C_3A-C\bar{S}H_2$ на 28-му добу твердіння

Порівняти інтенсивності ліній мінералів у часі, тобто їх зміну, звичайний якісний

аналіз не дає можливості, але з'ясовано, що в результаті утворення первинного еtringіту відбувається збільшення щільності та міцнісних показників.

Методика досліджень полягала в модифікуванні напівводного гіпсу глиноземистим цементом. При цьому визначали оптимальну кількість модифікатора для підвищення фізико-механічних властивостей, а також вплив мінералогічного складу модифікованого в'язучого.

Для досліджень використовували гіпс Г-5-П у кількості 30...70 %, основним мінералом якого є напівводний гіпс (рис. 5).

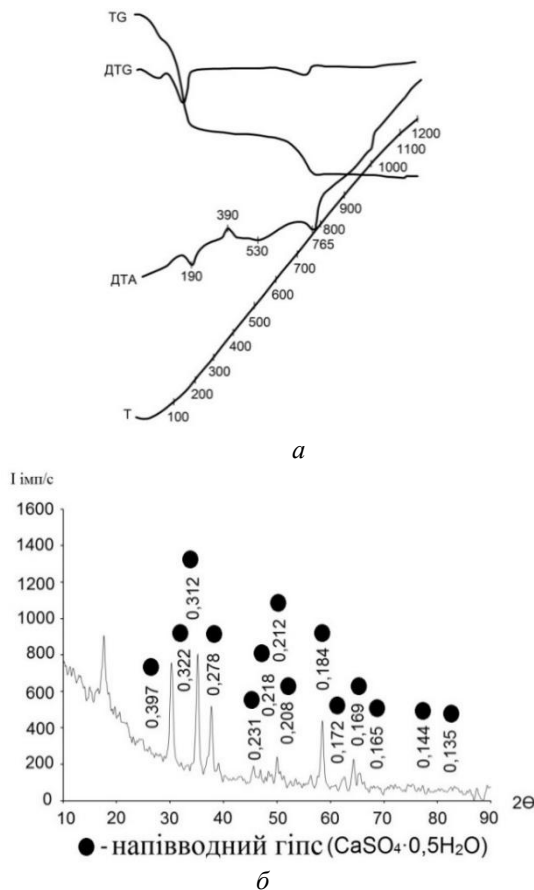


Рис. 5. Криві ДТА (а) та рентгенівська дифрактограма (б) гіпсу Г-5-П

Рентгенофазовий аналіз та обробка його даних виявили наявність нових продуктів гідратації. На дифрактограмі затверділого глиноземистого цементу ГЦ-500 з'являються через одну добу твердіння основні лінії гідратних фаз гідроалюмінату ($d/n = 0,820; 0,231; 0,217; 0,348; 0,199; 0,186; 0,178; 0,176; 0,162; 0,154$ нм), кубічного

шестиводного гідроалюмінату ($d/n = 0,315; 0,168; 0,160; 0,154$ нм); чотирикальцієвого дев'ятнадцятиводного гідроалюмінату ($d/n = 0,217; 0,207; 0,197; 0,170; 0,162$ нм) (рис. 5–7).

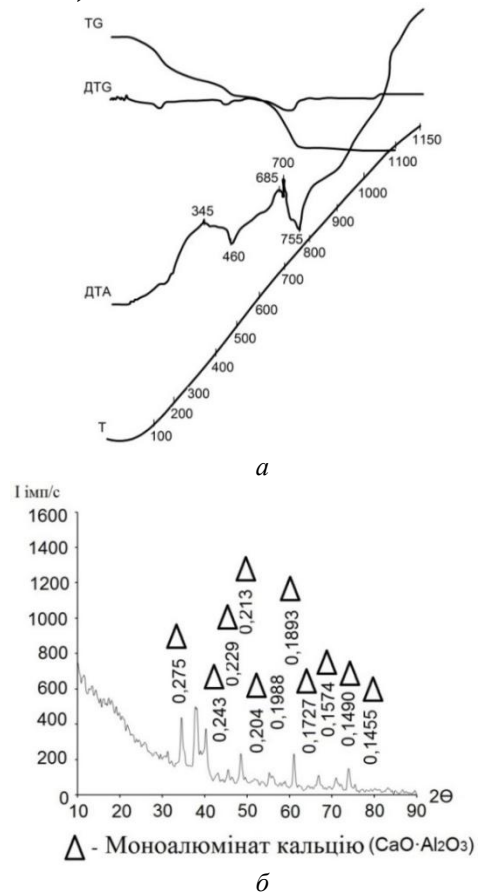


Рис. 6. Криві ДТА (а) та рентгенівська дифрактограма (б) глиноземистого цементу ГЦ-500

Із додаванням до глиноземистого цементу ГЦ-400 гіпсу марки Г-5 з'являються через 3 доби твердіння основні міжплощинні відстані й інтенсивності гідратних фаз еtringіту ($d/n = 0,973; 0,561; 0,388; 0,348; 0,256$ нм) (рис. 8–10). Спостерігаються лінії чотирикальцієвого тринадцятиводного гідроалюмінату ($d/n = 0,423; 0,266; 0,246; 0,238; 0,212; 0,168$ нм), чотирикальцієвого дев'ятнадцятиводного гідроалюмінату ($d/n = 0,331; 0,238; 0,151$ нм), гідроалюмінату ($d/n = 0,463; 0,255; 0,176; 0,151$ нм), чотирикальцієвого дев'ятнадцятиводного гідроалюмінату ($d/n = 0,331; 0,238; 0,151$ нм) (рис. 8–10).

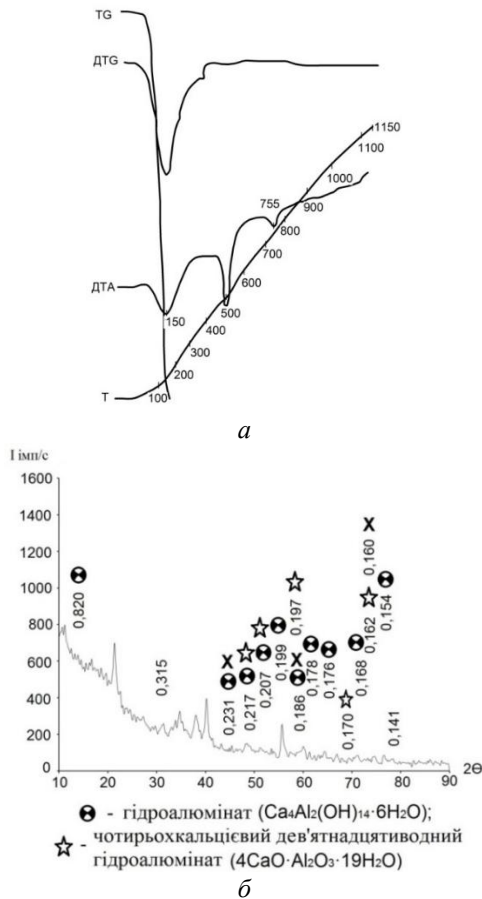


Рис. 7. Криві ДТА (а) та рентгенівська дифрактограма (б) гідратованого (без добавок) глиноземистого цементу ГЦ-500

Дослідження зміни структури за допомогою аналізу якісних дифрактограм і результатів диференційно-термічного аналізу вказує збільшення кількості еtringіту в процесі твердіння до 24 діб, але для достовірності гіпотези слід провести кількісний рентгенофазовий аналіз.

Для досліджень використано мінерал СзА та двоводний гіпс для створення штучного еtringіту. Потім проводили дослідження на композиті системи «глиноземистий цемент та гіпс».

Рентген та ДТА глиноземистого цементу ГЦ-500 показані на рисунку 6.

Криві ДТА та дифрактограма гідратованого глиноземистого цементу без добавок наведено на рисунку 7.

Результати проведених досліджень композиційних складів глиноземистий цемент ГЦ-500 в кількості 30...70 % приведені на рисунках 8–10.

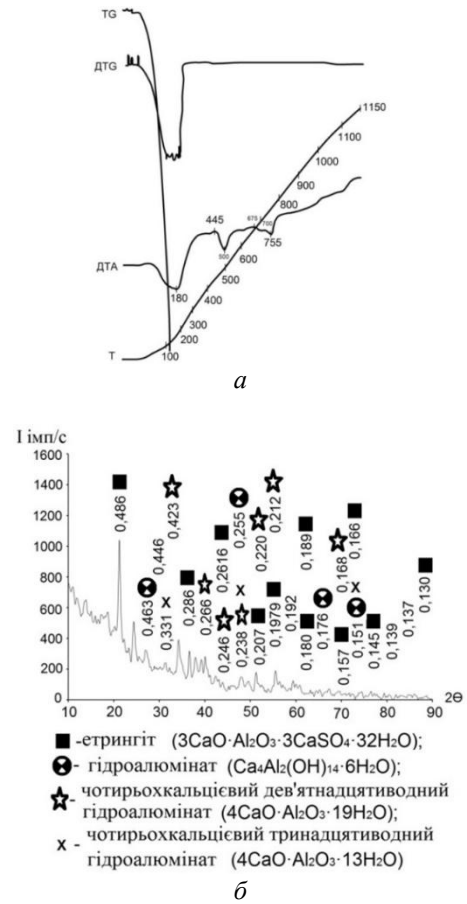


Рис. 8. Криві ДТА (а) та рентгенівська дифрактограма (б) 70 % ГЦ-500+30 % гіпсу

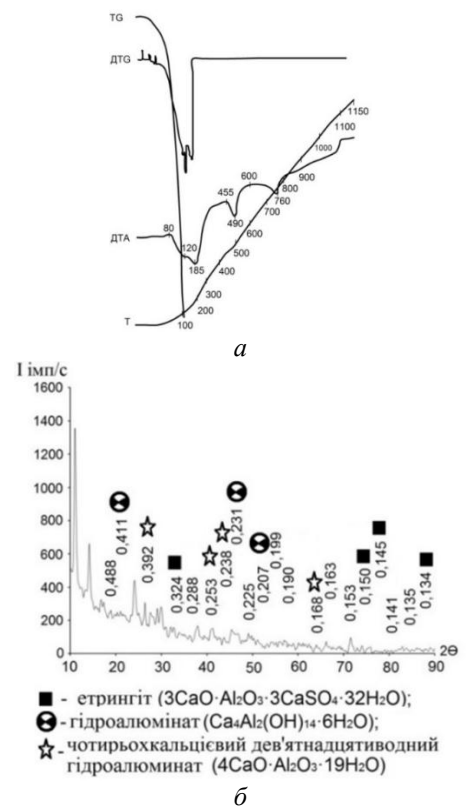


Рис. 9. Криві ДТА (а) та рентгенівська дифрактограма (б) 50 % ГЦ-500+50 % гіпсу

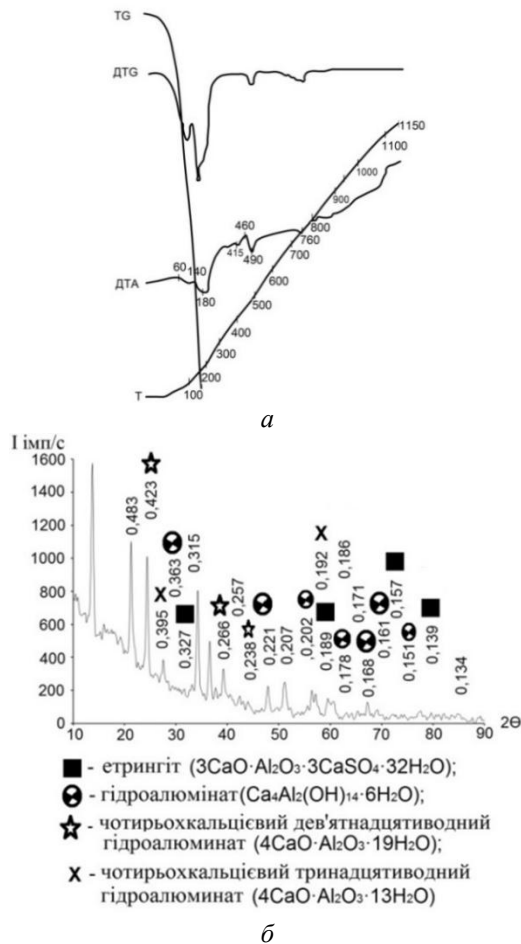
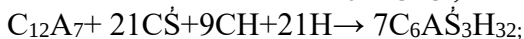
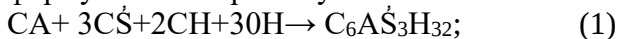


Рис. 10. Криві ДТА (а) та рентгенівська дифрактограма (б) 30 % ГЦ-500+70 % гіпсу

У процесі гідратації відбуваються такі взаємодії за присутності гіпсу, пов'язані з формуванням еtringіту:



У процесі тузавлення та твердіння через 3 доби інтенсивність ліній еtringіту та гідроксиду кальцію зростає, що підтверджує інтенсифікацію процесу гідратації (рис. 11–14).

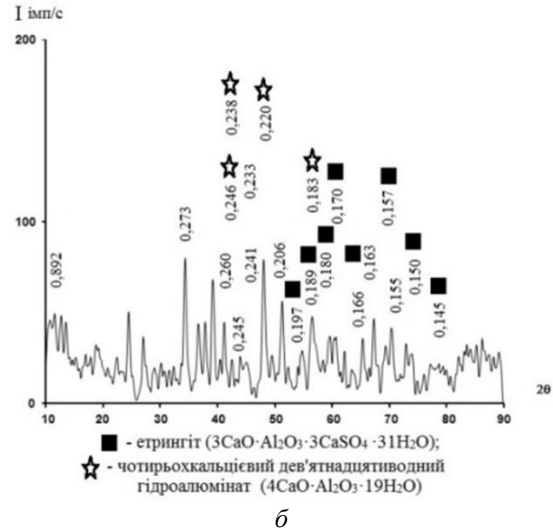
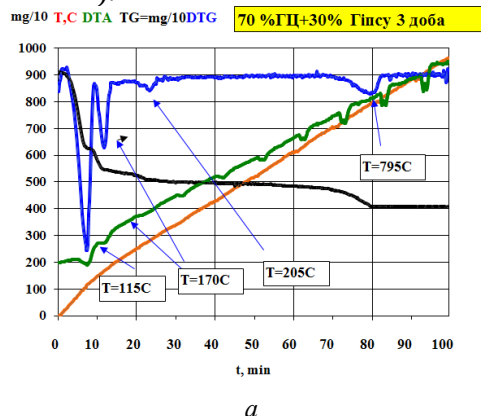


Рис. 11. Диференційно-термічний аналіз (а) та рентгенівська дифрактограма (б) еtringітової фази затверділого композиту, що складається з: 70 % глиноземистого цементу та 30 % гіпсу на 3-тню добу

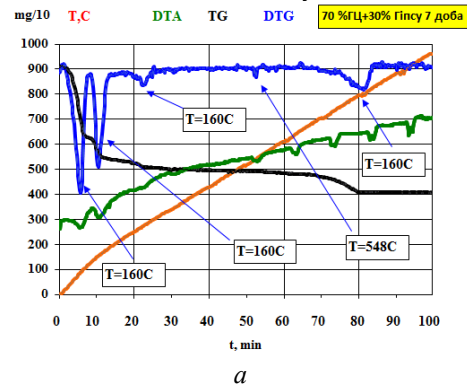


Рис. 12. Диференційно-термічний аналіз (а) та рентгенівська дифрактограма (б) еtringітової фази затверділого композиту, що складається з: 70 % глиноземистого цементу та 30 % гіпсу на 7-му добу

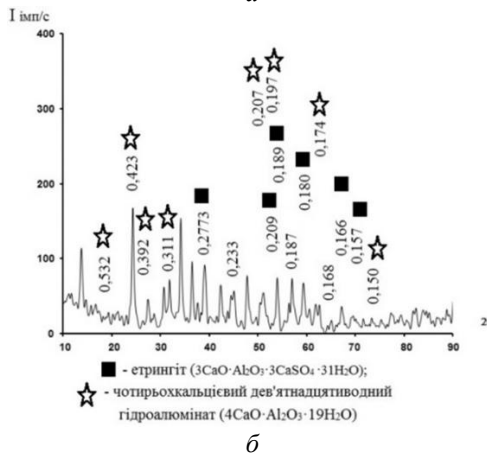
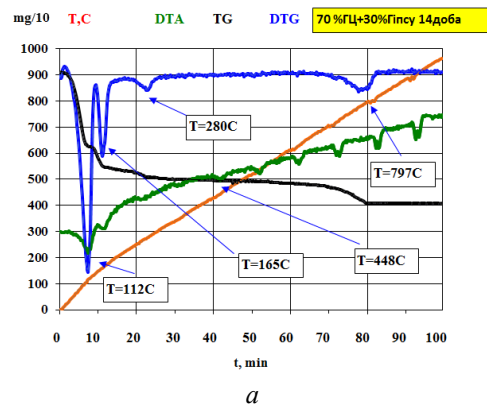


Рис. 13. Диференційно-термічний аналіз (а) та рентгенівська дифрактограма (б) еtringітової фази затверділого композиту, що складається з: 70 % глиноземистого цементу та 30 % гіпсу на 14-ту добу

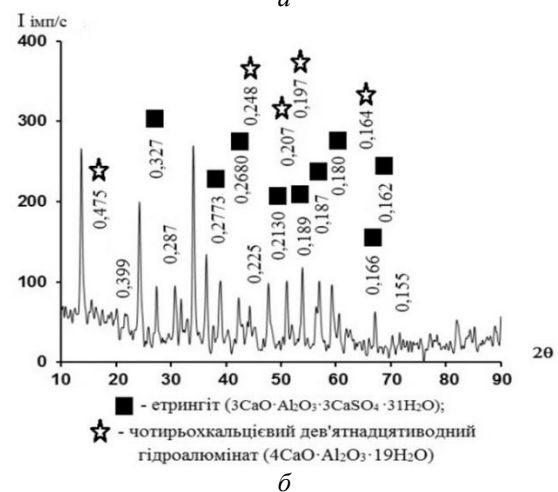
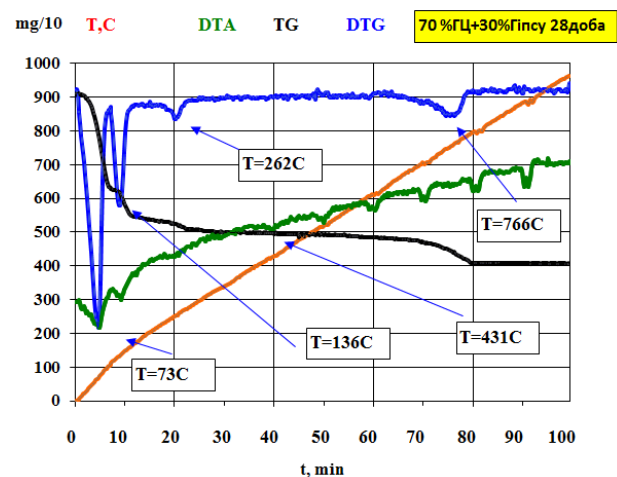


Рис. 14. Диференційно-термічний аналіз (а) та рентгенівська дифрактограма (б) еtringітової фази затверділого композиту, що складається з: 70 % глиноземистого цементу та 30 % гіпсу на 28-му добу

Таблиця 1
Визначення нормальної густини пасти, що складається із 70 % глиноземистого цементу та 30 % гіпсу

№ п/п	Маса цементу, г	Маса гіпсу, г	Маса води, мл	В/Ц	Глибина занур, мм
1	245	105	115,5	0,33	10
2	210	90	90	0,3	6
3	210	90	156	0,52	40
4	210	90	147	0,49	40
5	210	90	135	0,45	40
6	210	90	126	0,42	40
7	210	90	114	0,38	40
8	210	90	120	0,4	39
9	210	90	117	0,39	38
10	210	90	111	0,37	38
11	210	90	108	0,36	37
12	210	90	105	0,35	35

Початок тузавлення в'язучого – 4 хв. 56 сек.

Кінець тузавлення в'язучого – 6 хв. 39 сек.

Таблиця 2

Визначення нормальної густини пасти, що складається із 50 % глиноземистого цементу та 50 % гіпсу

№ п/п	Маса цементу, г	Маса гіпсу, г	Маса води, мл	В/Ц	Глибина занур.,мм
1	150	150	117	0,39	36
2	115	150	120	0,45	37
3	150	150	118,5	0,4	37

Початок тужавлення в'язучого – 4 хв. 40 сек.

Кінець тужавлення в'язучого – 6 хв. 05 сек.

Таблиця 3

Визначення нормальної густини пасти, що складається із 30 % глиноземистого цементу та 70 % гіпсу

№ п/п	Маса цементу, г	Маса гіпсу, г	Маса води, мл	В/Ц	Глибина занур.,мм
1	90	210	117	0,39	20
2	90	210	126	0,42	39
3	90	210	123	0,41	36÷37

Початок тужавлення в'язучого – 4 хв. 53 сек.

Кінець тужавлення в'язучого – 6 хв. 23 сек.

Міцність на стиск глиноземистого цементу у віці 1–3 доби залежить від водоцементного відношення, яке залежить від величини питомої поверхні, кількості активних центрів кристалізації та рухливості вихідних компонентів.

Тому, з метою збільшення еtringіту, проводили активацію глиноземистого цементу шляхом додавання гіпсу та визначали водопотребу композиційних в'язучих речовин на основі глиноземистого цементу, гіпсу (табл. 1–3).

Найбільше водовідділення має склад сировинної суміші на основі 30 % глиноземистого цементу та 70 % гіпсу, що пояснюється її меншою питомою поверхнею порівняно з добавками зі складами сировинної суміші на основах: 30 % глиноземистого цементу та 70 % гіпсу, а також 50 % глиноземистого цементу та 50 % гіпсу. Значне водовідділення спостерігається протягом 2 годин. Гіпс має вищу водопотребу, ніж глиноземистий цемент, і утворене дисперсне середовище буде значно стійкішим до розшарування. Водовідділення для складів, що містять 30 % глиноземистого цементу та 70 % гіпсу, а

також 50 % глиноземистого цементу та 50 % гіпсу стабілізується протягом 3 годин.

Із метою стабілізації нестабільної еtringітової фази проведено дослідження на двокомпонентній сировинній суміші оптимального складу: 70 % глиноземистого цементу та 30 % гіпсу.

Стабілізацію еtringіту композиту оптимального складу – 70 % глиноземистого цементу та 30 % гіпсу визначали за результатами топонімічних реакцій переходу системи з макро- в мікро- та наносистему зі зміною часу, проводячи рентгенофазовий аналіз через 3, 7, 14 та 28 діб.

Результати досліджень стабілізації еtringітової фази композиту оптимального складу – 70 % глиноземистого цементу та 30 % гіпсу, на 3-, 7-му добу (рис. 11, 12), 14- та 28-му добу (рис. 13, 14).

Рентгенофазовий аналіз та обробка його даних виявили наявність нових продуктів гідратації. На дифрактограмі затверділого композиту, що складається з: 70 % глиноземистого цементу та 30 % гіпсу, з'являються на 3, 7, 14 та 28-му доби твердіння основні лінії гідратних фаз

етрингіту ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 31\text{H}_2\text{O}$) ($d/n = 0,327; 0,2773; 0,2680; 0,2487; 0,238; 0,1979; 0,189; 0,180; 0,166; 0,162$ нм); основні міжплощинні відстані й інтенсивності гідратних фаз гідроалюмінату ($\text{Ca}_4 \cdot \text{Al}_2(\text{OH})_{14} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) ($d/n = 0,820; 0,351; 0,204; 0,178; 0,153$ нм); чотирикальцієвого дев'ятигидратного гідроалюміната ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 19\text{H}_2\text{O}$) ($d/n = 0,286; 0,164; 0,155$ нм); чотирикальцієвого тринадцятигидратного гідроалюміната ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 13\text{H}_2\text{O}$) ($d/n = 0,472; 0,286; 0,173; 0,162$ нм) (рис. 11–14).

На 14- та 28-му доби твердіння композиту з'являються основні міжплощинні відстані і інтенсивності гідратних фаз еترینгіту ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 31\text{H}_2\text{O}$) ($d/n = 0,402; 0,388; 0,194; 0,134$ нм).

За результатами досліджень [9] встановлено, що в разі взаємодії системи $\text{C}_3\text{A}-\text{C}_2\text{SH}_2$ з водою в початковий період відбувається розчинення C_3A з дуже швидким осіданням еترینгіту. В період від 1-ї до 3-ї доби концентрація CaO і Al_2O_3 в рідкій фазі також швидко знижується, а в

подальшому цей процес сповільнюється. Через одну годину після гідратації відношення CaO до Al_2O_3 близьке 1. У процесі подальшої гідратації це відношення зростає до 1,8–2 [9–12].

Висновки.

Композитом системи глиноземистий цемент + гіпс можна замінити штучну систему зі штучним еترینгітом.

За вибраною методикою досліджень відбувалася модифікація напівводного гіпсу глиноземистим цементом. Експериментальним шляхом встановлено оптимальну кількість модифікатора – 70 % глиноземистого цементу, яка необхідна для підвищення фізико-механічних властивостей, а також формування необхідного мінералогічного складу модифікованого в'язучого.

За гідратації модифікованих в'язучих речовин на основі глиноземистого цементу та гіпсу відбувається утворення еترینгіту, який дав можливість сформуванню необхідної структури та основні фізико-механічні властивості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кучеренко О. А. Структурні та термодинамічні характеристики еترینгіту. *Технології бетонів*. 2012. №9–10 (74–75). С. 60–63.
2. Дерев'янка В. М., Курятник Т. С., Кондратьєва Н. В. Механізм утворення еترینгіту та його вплив на структуру цементного каменю. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2005. Вип. 20. С. 67–79.
3. Кривенко П. В., Пушкарьова К. К., Барановський В. Б., Кочевих М. О., Хасан Є. Г., Константиновський Б. Я., Ракша В. О. Будівельне матеріалознавство : підруч. за ред. П. В. Кривенко. Київ : Ліра-К, 2015. 624 с.
4. Пушкарьова К. К., Кочевих М. О. Матеріалознавство для архітекторів та дизайнерів : навч. посіб. Київ : Вид-во «Ліра-К», 2019. 424 с.
5. Kondofesky-Mintova L., Plank J. Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete. *Proceedings Tenth International Conference*. October 2012, Prague, Czech Republic. P. 423.
6. Hansen T. Strength, elasticity and creep ad related to the internal structure of concrete. *Proceedings of the Fourth International Symposium on the Chemistry of Cement*. Washington, D. C. 1960. Vol. II, p. 709.
7. Rossetti A., Chiocchio G., Paolini A. Expansive properties of the mixture $\text{C}_4\text{A}\cdot\text{SH}_{17} - 2\text{C}_2\text{S}$. *Cement and Concrete Research*. 1982. Vol. 12, № 6. Pp. 577–585.
8. Nakamura T., Sudoh G., Akaiwa S. Mineralogical Composition of Expansive Cement Clinker Rich in SiO_2 and its Expansibility. *Symposium on the Chemistry of Cement*. Vol. IV. Tokyo, 1968. Pp. 351–365.
9. Pushkarova K., Sukhaneych M., Marsikh A. Using of untreated carbon nanotubes in cement composition. *Materials Science Forum*. Vol. 865. Brno, Czech Republic, 2016. Pp. 6–11.
10. Рунова Р. Ф., Дворкін Л. Й., Дворкін О. Л., Носовський Ю. Л. В'язучі речовини : підруч. Київ : Основа, 2012. 448 с.
11. Пашенко О. О. В'язучі матеріали : підруч. Київ : Вища школа, 1995. 416 с.
12. Land G., Stephan D. The Acceleration of the Hydration of Cements with and without supplementary cementitious materials by C–S–H seeds. *19 Internationale Baustofftagung*. 16–18 September, 2015. Bauhaus–Universität Weimar. Bundesrepublik Deutschland. Band 2. Pp. 1011–1017.

REFERENCES

1. Kucherenko O.A. *Strukturni ta termodynamichni kharakterystyky ettrynhitu* [Structural and thermodynamic characteristics of ettringite]. *Tekhnolohiyi betoniv* [Technologies of Concrete]. 2012, no. 9–10 (74–75), pp. 60–63. (in Ukrainian).
2. Derevyanko V.M., Kuryatnik T.S. and Kondratieva N.V. *Mekhanizm utvorennia etrynhitu ta yoho vplyv na strukturu tsementnoho kameniu* [The mechanism of ettringite formation and its effect on the structure of cement stone]. *Visnyk Odes'koyi derzhavnoyi akademiyi budivnytstva ta arkhitektury* [Bulletin of the Odessa State Academy of Construction and Architecture]. 2005, iss. 20, pp. 67–79. (in Ukrainian).
3. Kryvenko P.V., Pushkariova K.K., Baranovskyi V.B., Kochevyh M.O., Hasan Ye.G., Konstantynivskyi B.Ya. and Raksha V.O. *Budivel'ne Materialoznavstvo : pidruchnik* [Materials Science in Construction : textbook]. Ed. by P.V. Kryvenko. Kyiv : Lira-K Publ., 2015, 624 p. (in Ukrainian).
4. Pushkariova K.K. and Kochevykh M.O. *Materialoznavstvo dlya Arhitektoriv ta Dizayneriv : navchal'nyy posibnyk* [Materials Science for Architects and Designers : textbook]. Kyiv : Lira-K Publ., 2018, 424 p. (in Ukrainian).
5. Kondofesky-Mintova L. and Plank J. Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete : Proceedings Tenth International Conference. October 2012, Prague, Czech Republic, 423 p.
6. Hansen T. Strength, elasticity and creep ad related to the internal structure of concrete. Proceedings of the Fourth International Symposium on the Chemistry of Cement. Washington, D. C., 1960, vol. II, 709 p.
7. Rossetti A., Chiochio G. and Paolini A. Expansive properties of the mixture C4A $\bar{S}$ H17 – 2C $\bar{S}$. Cement and Concrete Research. 1982, vol. 12, no. 6, pp. 577–585.
8. Nakamura T., Sudoh G. and Akaiwa S. Mineralogical Composition of Expansive Cement Clinker Rich in SiO₂ and its Expansibility. Symposium on the Chemistry of Cement. Tokyo, 1968, vol. IV, pp. 351–365.
9. Pushkarova K., Sukhanevych M. and Marsikh A. Using of untreated carbon nanotubes in cement composition. Materials Science Forum. Brno, Czech Republic, 2016, vol. 865, pp. 6–11.
10. Runova R.F., Dvorkin L.J., Dvorkin O.L. and Nosovs'kij Yu.L. *V'yazhuchi rehovini* [Binders]. Kyiv : Osnova Publ., 2012, 448 p. (in Ukrainian).
11. Pashchenko O.O. *V'yazhuchi materialy* [Binding Materials]. Kyiv : Vishcha Shkola Publ., 1995, 416 p. (in Ukrainian).
12. Land G. and Stephan D. The Acceleration of the Hydration of Cements with and without supplementary cementitious materials by C–S–H seeds. 19 Internationale Baustofftagung. 16–18 September, 2015, Bauhaus–Universität Weimar, Bundesrepublik Deutschland, Band 2, pp. 1011–1017.

Надійшла до редакції: 30.08.2024.

УДК 69:057.6:001.895

DOI: 10.30838/UJCEA.2312.301024.77.1095

АКТУАЛЬНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У МОНОЛІТНОМУ БУДІВНИЦТВІ

ДІКАРЕВ К. Б.¹, канд. техн. наук, доц.,
ПАПІРНИК Р. Б.^{2*}, канд. техн. наук, доц.,
КОВАЛЬ В. М.³, асп.,
КОВАЛЬ В. В.⁴, маг.

¹ Кафедра технології будівельного виробництва, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-33-51, e-mail: dikarev.kostiantyn@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-9107-3667

^{2*} Кафедра технології будівельного виробництва, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-33-51, e-mail: ruslan.b.papirnyk@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-7153-9378

³ Кафедра технології будівельного виробництва, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-33-51, e-mail: koval.valeriy@365.pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0009-0004-8626-7212

⁴ Кафедра публічного управління та адміністрування, Дніпровський державний аграрно-економічний університет, вул. Сергія Єфремова, 25, 49009, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 371-08-21, e-mail: valery.valeriyovich.koval.27@gmail.com, ORCID ID: 0009-0000-5875-1497

Анотація. Постановка проблеми. Монолітне будівництво – один із найпоширеніших та найбільш ефективних методів зведення будівель та споруд. Упровадження новітніх технологій у цей вид будівництва дозволить підвищити якість та швидкість виконання робіт, знизити витрати та посилити безпеку праці. У зв'язку з цим дослідження традиційних та пошук нових інноваційних рішень у монолітному будівництві стає актуальною проблемою сучасності. Однією з ключових проблем у монолітному будівництві стала відсутність мобільних та легких у монтажі ріштувань. **Мета дослідження** – розроблення нових та вдосконалення існуючих конструктивно-технологічних рішень (КТР) улаштування монолітного будівництва, які б відповідали сучасним вимогам. **Методика.** Аналітичні дослідження використання сучасних технологій в монолітному будівництві, системне дослідження мобільних ріштувань як технології вдосконалення монолітного будівництва, аналіз та синтез наявних даних, порівняння різних типів ріштувань. **Результати.** З огляду на стрімкий розвиток монолітного будівництва, зміну як засобів, так і методів виконання будівельно-монтажних робіт на об'єктах будівництва, виявлено проблему відсутності на ринку мобільних та легких у монтажі ріштувань, які б можна було використовувати у важкодоступних місцях. Розроблено конструктивно-технологічне рішення мобільного ріштування, яке сприяє підвищенню безпеки, економічної ефективності в будівельній галузі. **Наукова новизна.** Удосконалено конструктивно-технологічне рішення, яке враховує особливості монтажу конструкцій в особливо важких місцях та відповідає запитам сучасних забудовників, несе оптимізацію методів та засобів виконання будівельно-монтажних робіт. **Практична значимість.** Упровадження новітніх технологій у монолітному будівництві дає можливість поліпшити якість будівельних робіт, зменшити витрати та підвищити безпеку працівників. Удосконалення нових конструкцій ріштувань дозволить ефективно використовувати робоче місце будівельника під час будівництва та забезпечити належні умови праці у важкодоступних місцях.

Ключові слова: монолітне будівництво; сучасні технології; ріштування; безпека праці; ефективність; інновації

RELEVANCE OF USING MODERN TECHNOLOGIES IN MONOLITHIC CONSTRUCTION

DIKAREV K.B.¹, Ph. D. (Tech.), Assoc. Prof.,
PAPIRNYK R.B.^{2*}, Ph. D. (Tech.), Assoc. Prof.,
KOVAL V.M.³, Postgrad. Stud.,
KOVAL V.V.⁴, Master

¹ Department of Construction Technologies, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Architect Oleh Petrov Str., Dnipro, 49005, Ukraine, tel.+38 (056) 756-33-51, e-mail: dikarev.kostiantyn@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-9107-3667

^{2*} Department of Construction Technologies, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Architect Oleh Petrov Str., Dnipro, 49005, Ukraine, tel.+38 (056) 756-33-51, e-mail: ruslan.b.papirnyk@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-7153-9378

³ Department of Construction Technologies, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Architect Oleh Petrov Str., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (056) 756-33-51, e-mail: koval.valeriy@365.pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0009-0004-8626-7212

⁴ Department of Public Administration, Dnipro State Agrarian and Economic University, 25, Serhiy Yefremov Str., Dnipro, 49009, Ukraine, tel. +38 (056) 371-08-21, e-mail: valery.valeriyovich.koval.27@gmail.com, ORCID ID: 0009-0000-5875-1497

Abstract. Problem statement. Monolithic construction is one of the most common and most effective methods of building and construction. The introduction of the latest technologies in this type of construction will improve the quality and speed of work, reduce costs, and increase labor safety. In this regard, the research of traditional and the search for new innovative solutions in monolithic construction becomes an urgent problem of modern times. One of the key problems in monolithic construction is the lack of mobile and easy-to-install scaffolding. **Purpose of the study.** The purpose of the research is the development of new and improvement of existing structural and technological solutions for the arrangement of monolithic construction, which would meet modern construction requirements. **Methodology.** Analytical research on the use of modern technologies in monolithic construction, a systematic study of mobile scaffolding as a technology for improving monolithic construction, analysis and synthesis of available data, comparison of the arrangement of different types of scaffolding. **Results.** Given the rapid development of monolithic construction and the changing means and methods of construction work at construction sites, the problem of the lack of mobile and easy-to-assemble scaffolding that could be used in hard-to-reach places was identified. A design and technological solution for mobile scaffolding has been developed, which contributes to increasing safety and economic efficiency in the construction industry. **Scientific novelty.** The design and technological solution has been improved, taking into account the features of the installation of structures in particularly difficult places and meeting the demands of modern developers, optimizing the methods and means of construction work. **Practical significance.** The introduction of new technologies in monolithic construction makes it possible to improve the quality of construction work, reduce costs, and increase worker safety. The improvement of new scaffolding designs will allow for the effective use of the builder's workplace during construction and ensure proper working conditions in hard-to-reach places.

Keywords: *monolithic construction; modern technologies; scaffolding; safety; efficiency; innovations*

Постановка проблеми. Монолітне будівництво – один із найпоширеніших та найбільш ефективних методів зведення будівель та споруд. Упровадження новітніх технологій у цей вид будівництва дозволить підвищити якість та швидкість виконання робіт, знизити витрати та посилити безпеку праці. Враховуючи активний розвиток будівельної галузі, постійне ускладнення архітектурних вимог та потребу у швидкому та якісному будівництві, дослідження новітніх технологій у монолітному будівництві має велику значимість та актуальність.

У будівельній галузі використання сучасних технологій має вирішальне значення для забезпечення ефективності робіт та безпеки праці на об'єкті. Особлива увага приділяється монолітному будівництву, яке відіграє важливу роль у створенні сучасних інфраструктурних об'єктів. Упровадження сучасних технологій у галузь будівництва має на меті поліпшити

та змінити процес будівництва, зменшити трудові витрати та підвищити якість виконання робіт. У зв'язку із цим дослідження традиційних та пошук нових інноваційних рішень у монолітному будівництві стає актуальною проблемою сучасності.

Сучасна архітектура та щільна забудова міст потребують не лише використання передових технологій будівництва, а й складних архітектурних рішень будівель, що містять у собі індивідуальні вимоги до кожного проекту. Однією з ключових проблем у монолітному будівництві стала відсутність мобільних та легких у монтажі ріштувань, які б можна було використовувати у важкодоступних місцях, що, у свою чергу, ускладнює процес будівництва, збільшуючи при цьому витрати та підвищує небезпеку для працівників.

Значимість дослідження полягає у тому, що воно спрямоване на вирішення актуальних проблем у будівельній галузі.

Впровадження новітніх технологій у монолітному будівництві може значно поліпшити якість будівельних робіт, зменшити витрати та підвищити безпеку працівників. Удосконалення нових конструкцій риштувань дозволить ефективно використовувати робоче місце та забезпечити належні умови праці у важкодоступних місцях.

Успішне вирішення цієї проблеми може позитивно вплинути на розвиток будівельно-монтажної індустрії, збільшити швидкість виконання будівельних проєктів, знизити витрати на будівництво, а також забезпечити безпеку та комфорт для працівників на будівельних об'єктах. Таким чином, розроблення нових та вдосконалення існуючих методів та технологій зведення будинків із моноліту має велике значення для підвищення конкурентоспроможності будівельної галузі та розвитку сучасної інфраструктури.

Мета дослідження – розроблення нових та вдосконалення існуючих конструктивно-технологічних рішень (КТР) улаштування монолітного будівництва, які б відповідали сучасним вимогам.

Результати досліджень. У монолітному будівництві використовуються готові рішення для виготовлення конструкцій, які можуть бути стандартними або індивідуально розробленими відповідно до проєкту будівлі. Цей метод дозволяє створювати міцні та довговічні споруди з високим рівнем архітектурної виразності. Важлива особливість монолітного будівництва полягає у можливості створення складних геометричних форм, а також у забезпеченні високої міцності та стійкості конструкцій. Цей метод дуже популярний у зведенні висотних будівель, мостів, стадіонів, а також житлових будинків та інших будівельних об'єктів [1].

Нові риштування та модифікації існуючих конструкцій можуть значно полегшити будівельні процеси в умовах важкодоступних місць і зменшити ризики для робітників.

Розглянемо кілька сучасних рішень.

1. *Мобільні риштування з легких матеріалів:* розробка спеціальних

риштувань із легких алюмінієвих сплавів або склопластику може дозволити швидко та легко монтувати опалубку у важкодоступних місцях. Ці риштування будуть маневреними та зручними для транспортування, що значно полегшить їх використання на будівельних об'єктах.

2. *Системи риштувань з автоматизованим управлінням:* використання систем з автоматизованим управлінням та датчиками безпеки дозволить автоматично регулювати висоту та положення риштування. Це забезпечить безпеку робітників та точність монтажу, що особливо важливо у важкодоступних місцях.

3. *Модульні риштування:* розроблення модульних систем риштувань, які можна швидко скласти та розбирати, дозволить ефективно використовувати їх на різних будівельних об'єктах. Ці риштування можуть бути адаптовані під конкретні геометричні особливості будівельних об'єктів.

4. *Використання мультиматеріалів:* розроблення риштувань із поєднанням різних матеріалів, таких як сталь, склофібробетон та полімерні композити, дозволить створити конструкції з оптимальним співвідношенням міцності, легкості та маневреності.

5. *Використання дронів та роботизованих систем:* для моніторингу та інспекції робіт на висоті, а також роботизованих систем для автоматичного монтажу риштувань може значно полегшити будівельні процеси та знизити ризики для робітників.

Ці інноваційні рішення спрямовані на поліпшення ефективності виробництва та безпеки робіт на об'єктах будівництва, зменшення трудових витрат, що відповідає сучасним вимогам сталого розвитку будівельної галузі.

Сучасне будівництво потребує відповідності вимогам сьогодення, щодо швидкості зведення будівель, якості та безпеки виконання робіт. Один із ключових елементів будівельного процесу – це використання риштувань, які забезпечують гідний рівень безпеки праці та ефективності

виконання робіт на будівельних майданчиках. У зв'язку з цим дослідження різних типів риштувань та їх характеристик

стає актуальним завданням. Вагомість монтування різних типів риштувань подано в таблиці 1 [2].

Таблиця 1

Легкість монтування різних типів риштувань

Тип риштування	Трудомісткість складання (від 1 до 10 балів)	Трудомісткість перевезення (від 1 до 10 балів)	Загальна оцінка
Традиційні	4	3	3.5
Модульні	8	7	7.5
Мобільні	9	9	9.0
Автоматизовані системи	7	8	7.5

Таблиця 1 відображає оцінку легкості монтування та транспортування різних типів риштувань. За результатами аналізу можна побачити, що найлегші – мобільні риштування, оцінені на 9 балів, що вказує на їх високу маневреність та простоту

установки. Далі йдуть модульні риштування з оцінкою 7.5, які також досить легкі та зручні в монтажі. Традиційні риштування мають найнижчу оцінку, через їх складність та важкість у монтажі та транспортуванні.

Таблиця 2

Швидкість монтування різних типів риштувань

Тип риштування	Час монтажу на 100 м ² (години)	Час демонтажу на 100 м ² (години)	Загальний час (години)
Традиційні	24	16	40
Модульні	12	8	20
Мобільні	8	6	14
Автоматизовані системи	10	7	17

Таблиця 2 відображає час, необхідний для монтажу та демонтажу різних типів риштувань на площі 100 м². Згідно з отриманими даними, найшвидші у монтажі мобільні риштування, для яких потрібно всього 8 годин на монтаж 100 м². Далі йдуть модульні риштування з 12 годинами, а традиційні риштування потребують найбільше часу – 24 години. Ці дані підтверджують, що використання мобільних риштувань дозволяє значно економити час у процесі будівельних робіт.

Таким чином, аналіз таблиць підтверджує важливість вибору правильного типу риштувань для підвищення ефективності будівельного процесу, зменшення часу та трудових витрат [3].

Вирішення проблеми неможливості виконання кладки у важкодоступних місцях полягає у розробленні та впровадженні спеціалізованих конструктивно технологічних рішень будівництва риштувань, які гарантують безпеку та ефективність робіт, а також знижують витрати та час на їх виконання. Один із

таких шляхів – це розроблення нових мобільних риштувань, призначеного спеціально для кам'яної кладки у важкодоступних місцях, безпосередньо на фасаді будівлі.

Для розроблення повноцінного конструктивно технологічного рішення мобільного риштування, враховано такі вимоги та потреби:

1. *Безпека працівників*: конструкція, яка забезпечує надійну підтримку та захист від падіння. Повинна мати стійку основу та міцні поручні для забезпечення стабільності та безпеки під час кладки.

2. *Зручність монтажу та демонтажу*: конструктивно технологічне рішення риштування має бути зручним у встановленні та демонтажі, щоб зменшити час та витрати на ці операції, складатися з компактних модулів, які можна швидко з'єднати та роз'єднати.

3. *Універсальність*: риштування має задовольняти потреби будь-яких архітектурних рішень та можливість

адаптуватися до різних розмірів та форм фасадів будинків.

4. *Вартість*: конструкція повинна бути вигідною з точки зору витрат на придбання та використання. Вона має бути бюджетною, але в той же час якісною [4].

У свою чергу, мурування на висоті потребує особливого підходу та обладнання, щоб забезпечити безпеку та ефективність робіт.

Зведення повноцінного фасадного окремого риштування у даному випадку недоцільне. Замість цього, вирішення проблеми повинно враховувати показники безпеки та зручності монтування комплексу риштувань, а також забезпеченість процесу монтажу засобами для контролю якості робіт. Важливе також співвідношення кількості задіяних у процесі людей та темпів монтування [5].

Розробляючи конструкції риштування, потрібно враховувати не лише його функціональність, а й зручність у встановленні та безпеку робітників. Монтаж має бути простим і швидким, а контроль якості робіт – легко здійснюваним.

Забезпечення безпеки праці під час виконання робіт на висоті має бути пріоритетним, тому конструкція повинна мати надійні опори, стійку фіксацію та ефективну систему підтримки. Також важливо враховувати можливість регулювання висоти та кута нахилу риштування з метою забезпечення оптимального доступу до місць проведення робіт.

Зручність монтажу також дозволить підтримувати високі темпи виконання робіт, що важливо для ефективності будівельного процесу. Можливість швидко та ефективно перевіряти виконані роботи дозволить уникнути помилок та забезпечити високу якість будівельних робіт. Таким чином, вирішення проблеми вимагає комплексного підходу, що враховує всі аспекти безпеки, ефективності та якості робіт [6].

Розглянемо детальніше ключові аспекти цього підходу:

1. *Менші розміри*. Нові риштування мають бути компактними, але досить міцними та стійкими. Це означає, що вони

повинні бути ефективно спроектовані для роботи в обмежених просторах, де немає достатнього місця для розгортання великих конструкцій.

2. *Легкість елементів*. Кожен окремий елемент риштування повинен бути легким та простим у монтажі. Це дозволить прискорити процес складання конструкції та знизити ризик випадкових травм під час роботи на висоті. Крім того, легкі елементи риштування дозволять зменшити фізичне навантаження на робітників під час монтажу та демонтажу.

3. *Універсальність*. Нові риштування повинні бути універсальними, тобто придатними для використання у будівництві різних типів споруд і будівель, а також у різних кліматичних умовах. Це дозволить забудовникам ефективно використовувати їх на різних об'єктах без додаткових витрат на нові конструкції.

4. *Модульність*. Система риштувань має бути модульною, щоб робітники могли швидко змінювати та адаптувати її для виконання різних завдань. Модульні конструкції спрощують процес монтажу та забезпечують гнучкість у використанні.

5. *Технологічність*. Використання сучасних технологій у виготовленні риштувань дозволить поліпшити їх якість та тривалість служби. Наприклад, застосування високоякісних матеріалів та новітніх методів обробки дозволить зменшити зношування і збільшити стійкість до впливу навколишнього середовища [7].

Великі вітрові навантаження та вага риштувальних елементів створюють значні ризики для безпеки робітників під час монтажу та демонтажу риштувань на великій висоті.

Вага окремих елементів риштувань – також серйозний фактор ризику. Підйом та маніпулювання громіздкими та важкими елементами на висоті вимагає додаткових заходів безпеки та спеціалізованого обладнання, недостатній контроль або несправний механізм підйому може спричинити падіння обладнання або матеріалів.

Для зменшення цих ризиків використовуються різні стратегії та

технології, які включають у себе використання легких та міцних матеріалів для виготовлення риштувальних елементів, розроблення систем автоматичного кріплення та забезпечення безпеки під час підйому та монтажу. Крім того, використання систем автоматизації та дистанційного керування може зменшити кількість робітників, яких потрібно залучати до висотних робіт, тим самим зменшуючи ризики нещасних випадків.

Монтаж менших, але міцних елементів риштувань може бути виконаний швидше та ефективніше, що дозволяє скоротити строк виконання робіт. Швидший монтаж риштувань також означає меншу кількість часу перебування робітників на висоті. Полегшення риштувань дозволяє збільшити мобільність та гнучкість в їх використанні. Менші та легкі риштування можуть бути легко переміщені та адаптовані для різних архітектурних конфігурацій та проектів. Це робить їх більш універсальними та придатними для використання у різних умовах будівництва.

Отже, полегшення додаткових елементів риштувань та систем не лише

вирішує проблему безпеки робітників, а й сприяє підвищенню продуктивності та ефективності будівельних процесів.

Враховуючи всі вимоги, запропоновано конструкцію мобільного риштування, яка має легку металеву раму з регульованими опорами для стійкості на будь-якій поверхні. Риштування оснащено системою безпечного кріплення та зручними поручнями для робітників. Воно складається з легких модульних елементів, що легко з'єднуються та роз'єднуються, а також має регульовані елементи для адаптації до будь-яких розмірів та форм фасадів.

Ця конструкція економічно вигідна, адже вона знижує витрати на робочу силу та час на монтаж. Таке рішення відповідає потребам будівельного процесу, забезпечуючи ефективність, безпеку та економічність під час виконання кладки у важкодоступних місцях будівлі.

На кладочному плані (рис.) виділено місце, яке потребує мурування на висоті. Це може бути частина фасаду будівлі у важкодоступному місці. Для виконання робіт у таких умовах необхідні спеціальні риштування.

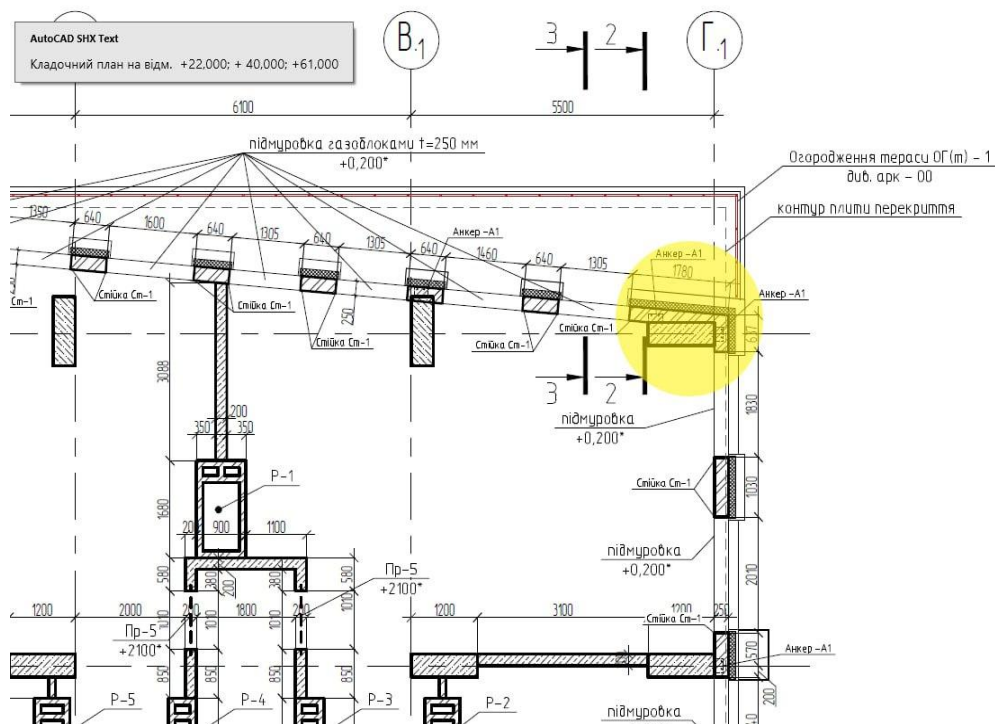


Рис. Приклад важкодоступного місія

Застосувавши сучасні підходи до вибору методів роботи із системами

риштувань ми отримали конструктивно технологічне рішення, спрямоване на

оптимізацію процесів монолітно-каркасного будівництва. Воно включає в себе більш ергономічні та функціональні конструкції риштувань. Важлива складова цього рішення – збільшення мобільності та гнучкості систем риштувань, яке досягається за рахунок використання легких матеріалів та конструкцій з меншою масою. Воно відповідає сучасним вимогам до будівельних конструкцій та стандартам якості, а також дозволяє ефективно використовувати ресурси на будівництві [8].

Також більш продумана система фіксації та контролю якості дозволяє уникнути нещасних випадків на будівельних майданчиках.

З метою вдосконалення існуючих систем будівництва, які надавали можливість виконувати роботи у важкодоступних місцях, запропоновано нову технологію риштування, яка відповідає сучасним вимогам безпеки та продуктивності. Вона характеризується меншими розмірами, легкістю та простотою монтажу, що значно полегшує процес будівництва та зменшує ризики для робітників і дозволяє ефективно виконувати роботи навіть у найскладніших умовах.

Для подальшого вдосконалення сучасних технологій в монолітному будівництві рекомендується звернути увагу на такі аспекти:

1. Подальший розвиток мобільних риштувань: продовжити дослідження та розроблення нових конструкцій мобільних риштувань з урахуванням вимог до безпеки, ефективності та зручності використання.

2. Стандартизація інструментів та процесів монтажу: розробити єдині стандарти для монтажу риштувань, що спростить процес будівництва та забезпечить однакову якість робіт на різних об'єктах.

3. Впровадження цифрових технологій: задіяти цифрові рішення для контролю якості та планування процесів монтажу, що дозволить ефективно використовувати ресурси та уникнути помилок.

4. Навчання та підготовка робітників: організувати тренінги та навчання для

робітників із використання новітніх технологій та методів роботи з риштуванням.

5. Дослідження інноваційних матеріалів: вивчати нові матеріали для виробництва риштувань, що можуть забезпечити вищу міцність та легкість конструкцій.

6. Співпраця зі спеціалізованими компаніями: залучення інженерів та конструкторів зі спеціалізованих компаній для розроблення та впровадження нових технологій у будівництво.

7. Створення стимулів для впровадження новітніх рішень: підтримка держави та створення стимулів для забудовників для використання сучасних технологій у будівництві.

8. Дослідження ринку та вивчення потреб клієнтів: аналізувати вимоги та потреби замовників у сфері будівництва для розроблення найбільш ефективних та конкурентоспроможних рішень [1].

Загальна мета таких рекомендацій полягає у підвищенні якості та безпеки будівельних робіт, зменшенні витрат та прискоренні темпів будівництва за допомогою впровадження сучасних технологій у монолітне будівництво.

Висновки.

Упровадження сучасних технологій, зокрема, у розробленні мобільних і легких риштувань, має величезний потенціал для інновацій у практиках монолітного будівництва. Усуваючи виявлені прогалини на ринку, розробили конструктивно-технологічне рішення мобільного риштування, яке сприяє підвищенню безпеки, економічної ефективності в будівельній галузі.

Також виявлено, що ефективність та безпека будівництва значно підвищуються за умови використання сучасних методів та матеріалів, підвищення якості виконаних будівельних робіт.

Постійний пошук і впровадження новаторських рішень у цій галузі – важливий крок для підтримки розвитку

будівельної індустрії та поліпшення якості життя населення.

Отже, використання сучасних технологій у монолітному будівництві

постає надзвичайно актуальним та необхідним напрямком розвитку, який сприяє підвищенню ефективності та якості будівельних проектів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Іванов О. С., Козлов М. П. Інноваційні підходи до використання риштувань у монолітному будівництві. *Сучасні технології в будівництві : мат. наук. конф.* 2019. С. 112–119.
2. Гончаренко І. І., Степанов В. П. Використання цифрових технологій у монолітному будівництві. *Вісник наукових досліджень.* 2019. С. 67–74.
3. Мартиненко О. М., Гриценко В. С. Ефективність застосування новітніх риштувань у будівництві висотних споруд. *Науковий вісник Харківського політехнічного університету.* 2021. С. 88–95.
4. Кулик В. Д., Мельник О. І. Аналіз популярних методів та технологій в монолітному будівництві. *Будівельна індустрія : досвід, проблеми, перспективи.* 2020. С. 34–41.
5. Державні будівельні норми України. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції : ДБН В.2.6-98:2009. [Чинний від 2011-07-01]. Київ : Держстандарт України, 2009. 71 с.
6. Петренко В. О., Ковальчук А. С. Інноваційні підходи до проектування монолітних споруд. *Журнал будівництва та архітектури.* 2019. С. 50–57.
7. Сидоренко О. М., Гаврилюк І. В. Технологічні аспекти монолітного будівництва: аналіз та перспективи. *Вісник будівництва і архітектури.* 2019. С. 28–35.
8. Шевченко В. П., Іванова Н. М. Сучасні підходи до підвищення якості та ефективності будівництва монолітних конструкцій. *Сучасні проблеми будівництва.* 2020. С. 112–120.

REFERENCES

1. Ivanov O.S. and Kozlov M.P. *Innovatsiini pidkhody do vykorystannia ryshtuvan u monolitnomu budivnytstvi* [Innovative approaches to the use of scaffolding in monolithic construction]. *Suchasni tekhnologii v budivnytstvi : mat. nauk. konferentsii* [Modern technologies in construction : materials of the scient. conf.]. 2019, pp. 112–119. (in Ukrainian).
2. Honcharenko I.I. and Stepanov V.P. *Vykorystannia tsyfrovyykh tekhnologii u monolitnomu budivnytstvi* [The use of digital technologies in monolithic construction]. *Visnyk naukovykh doslidzhen* [Bulletin of Scientific Research]. 2019, pp. 67–74. (in Ukrainian).
3. Martynenko O.M. and Hrytsenko V.S. *Efektivnist zastosuvannia novitnikh ryshtuvan u budivnytstvi vysotnykh sporud* [Effectiveness of using the latest scaffolding in the construction of high-rise buildings]. *Naukovyi visnyk Kharkivskoho politekhnichnoho universytetu* [Scientific Bulletin of Kharkiv Polytechnic University]. 2021, pp. 88–95. (in Ukrainian).
4. Kulyk V.D. and Melnyk O.I. *Analiz populiarnykh metodiv ta tekhnologii v monolitnomu budivnytstvi* [Analysis of popular methods and technologies in monolithic construction]. *Budivelna industriia : dosvid, problemy, perspektyvy* [Construction Industry : Experience, Problems, Prospects]. 2020, pp. 34–41. (in Ukrainian).
5. *Derzhavni budivelni normy Ukrainy. Konstruktsii budynkiv i sporud. Betonni ta zalizobetonni konstruktsii : DBN V.2.6-98:2009* [State building regulations of Ukraine. Structures of buildings and structures. Concrete and reinforced concrete structures : DBN V.2.6-98:2009]. [Effective from 2011-07-01]. Kyiv : Derzhstandart Ukrainy Publ., 2009, 71 p. (in Ukrainian).
6. Petrenko V.O. and Kovalchuk A.S. *Innovatsiini pidkhody do proektuvannia monolitnykh sporud* [Innovative approaches to the design of monolithic structures]. *Zhurnal budivnytstva ta arkhitektury* [Construction and Architecture Magazine]. 2019, pp. 50–57. (in Ukrainian).
7. Sydorenko O.M. and Havryliuk I.V. *Tekhnologichni aspekty monolitnoho budivnytstva : analiz ta perspektyvy* [Technological aspects of monolithic construction : analysis and prospects]. *Visnyk budivnytstva i arkhitektury* [Bulletin of Construction and Architecture]. 2019, pp. 28–35. (in Ukrainian).
8. Shevchenko V.P. and Ivanova N.M. *Suchasni pidkhody do pidvyshchennia yakosti ta efektyvnosti budivnytstva monolitny khkonstruktsii* [Modern approaches to improving the quality and efficiency of construction of monolithic structures]. *Suchasni problemy budivnytstva* [Modern Problems of Construction]. 2020, pp. 112–120. (in Ukrainian).

Надійшла до редакції: 28.08.2024.

УДК 624.072, 624.131.5, 681.518.46, 004.896
DOI: 10.30838/UJCEA.2312.301024.85.1096

АКТУАЛЬНІСТЬ ДОСЛІДЖЕННЯ ІННОВАЦІЙНИХ РІШЕНЬ У ВИЯВЛЕННІ ДЕФЕКТІВ ПЛОСКИХ ПОКРІВЕЛЬ

ДІКАРЕВ К. Б.^{1*}, канд. техн. наук, доц.,
ГРИГОРОВИЧ М. С.², здобувач,
КУЦЕНКО-СКОКОВА А. О.³, канд. техн. наук, доц.,
СТЕЦЮК Я. О.⁴, асп.

^{1*} Кафедра технологій будівельного виробництва, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-34-22, e-mail: kdikarev@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-9107-3667

² Кафедра технологій будівельного виробництва, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-33-51, e-mail: nik27mil@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-5539-7493

³ Кафедра технологій будівельного виробництва, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-33-51, e-mail: skokova.pgasa@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-0443-0222

⁴ Кафедра технологій будівельного виробництва, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-33-51, e-mail: aron27@ukr.net, ORCID ID: 0009-0007-3614-6756

Анотація. Постановка проблеми. В Україні найбільше будинків зведених між 1960–1990 роками. Наразі капітального ремонту потребує половина з них. Відповідно до діючих українських нормативних документів комплексне обстеження всього будинку повинно проводитись один раз на 10 років та не менше ніж один раз на 5 років для будинків або окремих елементів будинків, які працюють у несприятливих умовах, а сюди відносять покрівлі. Під час повномасштабної війни на території України велике значення має надаватись безпеці і здоров'ю людей. Особливо під час повітряної тривоги, коли їх перебування на даху найбільш небезпечне – піддається загрози життя і здоров'я спеціалістів, які займаються обстеженням покрівлі [1]. Проблема збереження життя і здоров'я набуває особливого значення і під час пандемії “Covid-19”, так, наприклад, **International Code Council** (Міжнародна Рада Кодування), головна інституція щодо стандартизації будівельних систем в США, під час “Covid-19 пандемії” видала рекомендації відносно віддаленого інспектування будівельних конструкцій та споруд. Влада Лос-Анджелеса на муніципальному рівні пропонує застосування цього методу в інспектуванні будівельних конструкцій [2]. **Мета статті** полягає в аналізі потреб та викликів, пов'язаних з обстеженням покрівель в Україні та, зокрема, в Дніпропетровській області на сьогоднішній день в умовах повномасштабної війни. Необхідно визначити загальний обсяг покрівель, які потребують обстеження, основні дефекти, що виникають, а також ризики, які можуть виникнути через відсутність своєчасного обстеження. Також у статті визначено основні етапи процесу обстеження покрівель, висвітлити необхідні знання та навички, потрібні кваліфікованим спеціалістам для комплексного обстеження покрівель. **Висновки.** Проаналізувавши загальну кількість будинків та норми, які визначають частоту обстежень покрівель, взявши до уваги всі етапи підготовки і навички, необхідні фахівцям з обстеження, а також умови повномасштабної війни, в якій сьогодні перебуває наша країна, можна зробити висновок, що підготовка таких спеціалістів стає ресурсомісткою і вимагає значних інвестицій часу та зусиль. На жаль, за даними МВФ, населення України зменшується. Відповідно до статистики, у 2022 році воно скоротилося до 35 млн, а до 2023 року — до 33,2 млн. Відповідно зменшується число кваліфікованих фахівців, які будуть спроможні комплексно займатись обстеженням покрівель. Необхідне упровадження інноваційних рішень та нових підходів у сфері комплексного обстеження покрівель. Зокрема, це стосується ефективного виявлення дефектів покрівлі, складання комплексних звітів та кошторисів із максимальною економією часу, фінансових та людських ресурсів.

Ключові слова: дефекти плоских покрівель; інноваційні рішення; комплексне обстеження

RELEVANCE OF RESEARCH ON INNOVATIVE SOLUTIONS FOR DETECTING DEFECTS IN FLAT ROOFS

DIKAREV K.B.^{1*}, Ph. D. (Tech.), Assoc. Prof.,
HRYHOROVYCH M.S.², Applicant,

KUTSENKO-SKOKOVA A.O.³, PhD, Assoc. Prof.,
STETSIUK Ya.O.⁴, Postgrad. Stud.

^{1*} Department of Construction Technologies, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Architect Oleh Petrov Str., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-22, e-mail: kdikarev@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-9107-3667

² Department of Construction Technologies, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Architect Oleh Petrov Str., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-22, e-mail: nik27mil@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-5539-7493

³ Department of Construction Technologies, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Architect Oleh Petrov Str., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-22, e-mail: skokova.pgasa@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-0443-0222

⁴ Department of Descriptive Geometry and Graphics, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Architect Oleh Petrov Str., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-22, e-mail: aron27@ukr.net, ORCID ID: 0009-0007-3614-6756

Abstract. Problem Statement. In Ukraine, the most numerous buildings are those constructed between 1960–1990. As of today, half of them require major repairs. According to current Ukrainian regulatory documents, comprehensive inspections of the entire building should be conducted every 10 years, and at least once every 5 years for buildings or separate elements of buildings that operate under adverse conditions, including roofs. During the full-scale war on the territory of Ukraine, the safety and health of workers are of paramount importance. Especially during air raids, when being on the roof is most dangerous—posing a threat to the life and health of specialists inspecting the roof [1]. The issue of preserving life and health is particularly significant during the Covid-19 pandemic. For example, the International Code Council, the main institution for standardizing building systems in the USA, issued recommendations during the Covid-19 pandemic regarding remote inspection of building structures. The authorities of Los Angeles at the municipal level proposed using this method for building structure inspections [2]. **Objective.** The article aims to analyze the needs and challenges associated with roof inspections in Ukraine, particularly in the Dnipropetrovsk region, in the context of the ongoing full-scale war. It is necessary to determine the overall volume of roofs requiring inspection, the main defects that arise, and the risks that may occur due to the lack of timely inspections. Additionally, the article needs to outline the main stages of the roof inspection process, identify the necessary knowledge and skills required by qualified specialists for comprehensive roof inspections. **Conclusions.** Analyzing the total number of buildings and the norms determining the frequency of roof inspections, considering all preparation stages and the skills needed by inspection specialists, as well as the conditions of the full-scale war in which our country finds itself today, it can be concluded that the preparation of such specialists is resource-intensive and requires significant investments of time and effort. Unfortunately, according to IMF data, the population of Ukraine is showing a tendency to decrease. According to statistics, in 2022 the population decreased to 35 million, and by 2023 – to 33.2 million. This leads to a decline in the number of sufficiently qualified specialists who will be able to comprehensively engage in roof inspections. The general review of aspects showed the need to introduce innovative solutions and new approaches in the field of comprehensive roof inspections. This particularly concerns the effective detection of roof defects, the preparation of comprehensive reports, and estimates with maximum savings of time, financial, and human resources.

Keywords: flat roof defects; innovative solutions; comprehensive inspection

Площа покрівлі може сягати до 50 % площі будинку в цілому, якщо говорити про індивідуальні житлові будівлі. Для багатопверхових будинків відсоток буде меншим – до 25 %, але це також високий показник. Покрівельні роботи серед інших будівельних робіт вважаються одними з найбільш трудомістких та найменш механізованих.

Незабаром у Верховній Раді України на пленарних засіданнях починається розгляд проекту Закону про здійснення комплексної реконструкції кварталів (мікрорайонів) застарілого житлового фонду, який був

внесений Кабінетом Міністрів України ще у 2021 році.

Наразі згідно зі статистичними даними, отриманими від органів місцевого самоврядування у 2019 році, на території України налічується 30 380 багатоквартирних житлових будинків, віднесених до застарілого житлового фонду [3].

Обстеження спеціалістом стану покрівлі перед її ремонтом – це непросте завдання, що може розтягнутися у часі. Важливо зауважити також, що у випадку ремонту покрівель не має значення вік забудови:

ремонту потребують як покрівлі будинків, віднесених до історичної спадщини (рис. 1), так і дахи відносно молодих будівель,



Рис. 1. Міська забудова Генуї (Італія), XVI ст.

В умовах повномасштабної війни на території України велике значення має надаватися безпеці і здоров'ю працівників. Особливо під час повітряної тривоги, коли їх перебування на даху стає найбільш небезпечним – піддається загрозі життя і здоров'я спеціалістів, які займаються обстеженням покрівлі [1].

Проблема збереження життя і здоров'я набуває особливого значення і під час пандемії "Covid-19", так, наприклад, **International Code Council** (Міжнародна рада кодування), головна інституція щодо стандартизації будівельних систем у США, під час "Covid-19 пандемії" видала рекомендації відносно віддаленого інспектування будівельних конструкцій та

більшість яких дісталися Україні як радянська спадщина (рис. 2).



Рис. 2. Житловий масив міста Дніпра, XX ст.

споруд. Влада Лос-Анджелеса на муніципальному рівні пропонує застосування цього методу в інспектуванні будівельних конструкцій [2].

В Україні, на 1 січня 2020 року 69 % населення проживало в містах [4]. Станом на 2022 рік міський житловий фонд України складає 647,59 млн м², з яких у Дніпропетровській області 68,223 млн м². При тому, найбільше українців (близько 73,4 %), проживають у будинках, зведених у період з 1960-х по 1990-ті роки. Частка будинків, збудованих у часи незалежності, складає 11,5 %, кількість застарілих будинків, побудованих до 1960-х років складає приблизно 15 % (див. табл. 1).

Таблиця 1

Частка населення, що проживає в будинку, зведеному в певний період

Період будівництва, рік	до 1940	1950	1960	1970	1980	1991–2000	після 2001
Частка населення, %	6,2	8,9	19,6	27,7	26,1	9,1	2,4

Керуючись законопроектом № 6458 [5], який передбачає знесення будинків, термін експлуатації яких або вже минув, або добігає кінця, розгляд останньої категорії будинків, що вважаються застарілими, не

має сенсу. На території Дніпропетровської області найбільш розповсюджені для обстеження панельні, блокові та цегляні будинки, серії проектів 464-90, побудовані з 1964 по 1990-ті роки, які мають плоскі

покрівлі вкриті різноманітними мембранними матеріалами, такими як бітум, мастики, ПВХ або мембрани з полімерного або модифікованого бітуму. В Україні капітального ремонту ніколи не проводили у майже половині будинків, зведених у 1960–1990-х роках (рис. 3), а таких найбільше.

Враховуючи нормативні вимоги щодо обстежень технічного стану будівель і споруд, ці дані вказують на потенційну проблему з дотриманням норм [6], згідно з якими обстеження повинно проводитись не пізніше ніж через два роки після введення будинку в експлуатацію.

У подальшому один раз кожні 10 років слід виконувати комплексне обстеження

всього будинку та не менше ніж раз на п'ять років для будинків або окремих елементів будинків, в тому числі і покрівлі, які працюють у несприятливих умовах (агресивні середовища, вібрації, підвищена вологість, сейсмічність району 7 балів і більше тощо).

Для унікальних будівель та споруд встановлюється постійний режим моніторингу. Таким чином, держава має звернути увагу на цю тенденцію і посилити контроль за станом житлового фонду, зокрема, забезпечити виконання регулярних технічних обстежень для гарантування безпеки і підтримки життєздатності мешканців будівель.

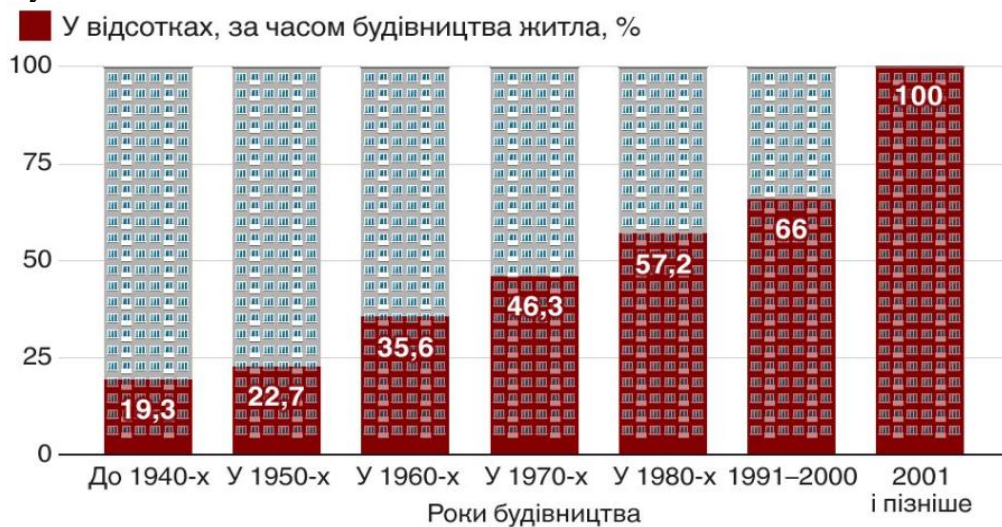


Рис 3. Будинки, в яких не проводили капітальний ремонт

Своєчасне обстеження покрівлі об'єкта будівництва – важливий та необхідний захід, оскільки з часом відбувається втрата герметичності у результаті впливу таких чинників:

- механічний вплив на покрівлю або гідроізоляцію;
- порушення щільності з'єднання між окремими елементами покрівлі або гідроізоляції;
- атмосферна корозія елементів покрівлі;
- корозія елементів гідроізоляції;
- поява тріщин у матеріалах покрівлі або гідроізоляції через розтягувальні зусилля в матеріалах у разі нерівномірного осідання основи;

- пошкодження внаслідок падіння уламків ракет, дронів тощо.

Навіть невеликі дефекти покрівлі спричиняють проникнення води під захисний шар, що може викликати намокання утеплювача та навіть руйнування бетонної основи даху або корозію металевих балок, що вимагатиме капітального ремонту усієї покрівлі. Такий ремонт буде набагато більш витратним варіантом вирішення проблеми.

Точна ідентифікація причини дефектів покрівлі і своєчасне їх усунення вважаються надзвичайно важливими з погляду безпеки та економії ресурсів. Проте це вимагає залучення багатьох кваліфікованих фахівців,

які повинні володіти такими навичками та знаннями:

1. Розпізнавати тип покрівлі [7]: це рулонні з бітумних і полімерних матеріалів, мембранні з механічною фіксацією або із суцільним приклеюванням, мастикові з бітумних емульсійних мастик або бітумно-полімерних мастик, комбіновані мастикові на рулонних підкладках з руберойду та інших матеріалів. Кожен тип покрівлі має свої особливості та вимагає відповідного підходу до обстеження та ремонту.

2. Вміти користуватись спеціалізованим обладнанням та інструментами [6]. Для ефективного обстеження покрівлі необхідне вміння користуватись такими інструментами, як тепловізор, лазерний далекомір, термоанемометр, вологомір тощо. Це допомагає виявити дефекти та оцінити стан покрівлі з великою точністю.

3. Виявляти й оцінювати різні види дефектів: тріщини, проломи, сколи кутів, лущення, пробоїни, дрібні свищі, прориви різних видів, наскрізні тріщини мастикового гідрозахисного шару, відшарування, корозія окремих листів сталевих покрівель тощо.

4. Правильно класифікувати дефекти, залежно від їх розміру та масштабів пошкоджень – це критично важлива складова процесу обстеження покрівлі. Точкові пошкодження, зосереджені на площі до 1 м², часто стають результатом механічної дії на покрівлю чи гідроізоляцію. Ці пошкодження можуть включати проломи, прориви, здуття, тріщини та загортання полотнищ рулонного матеріалу, а також наскрізні прориви, раковини,

лущення, наскрізні тріщини мастикового гідрозахисного шару, а також сколи кутів та проломи або викривлення окремих листів азбоцементних покрівель.

Локальні пошкодження, які зазвичай розміщені на площі до 100 м², стали результатом низької якості застосованих матеріалів та виконаних робіт. Це старіння водонепроникного шару в розжолобках і примиканнях, загортання полотнищ рулонного килима, відшарування або здуття шарів рулонної покрівлі, розриви покрівельного килима над стиками плит покриття, розриви гідроізоляційного шару через нерівномірне осідання основи, відшарування в розжолобках та тріщини в примиканнях, корозія в розжолобках, тріщини, сколи та проломи азбоцементної покрівлі, а також корозія, свищі та пробоїни в розжолобках та окремих листах сталевих покрівель.

5. Знати і володіти методами обстеження. Вміти робити візуальний огляд, проводити інструментальні виміри, здійснювати відбір зразків і виконувати випробування матеріалів покрівлі, а також володіти комплексом лабораторних методів обстеження.

6. Вміти точно визначати категорію технічного стану покрівель і гідроізоляції (див. табл. 2) та надавати конкретні рекомендації щодо усунення дефектів, керуючись будівельними нормами.

7. Скласти кошторисний розрахунок з урахуванням необхідних матеріалів, витрат часу і коштів для усунення пошкоджень.

Таблиця 2

Класифікаційні ознаки технічного стану покрівель та гідроізоляції

Категорія технічного стану	Дефекти покрівельного або гідроізоляційного шару	Протікання
«1»	Відсутні, окремі точкові	Немає
«2»	Точкові. Окремі локальні	Немає
«3» (для гідроізоляції приміщень I–III категорії за вологістю - задовільний «2»)	Масові локальні, обсяг яких менший 40 % від усієї площі	Окремі, не більше 20 % площі
«4»	Сплощені локальні, обсяг яких більший 40 % усієї площі	Масові

Для ефективного комплексного обстеження покрівель задіяних спеціалістів необхідно ретельно підготувати, забезпечивши їх глибокими знаннями та практичними навичками у сфері виявлення та діагностики дефектів.

Перше – це організувати навчальний процес, що охоплює теоретичні знання та практичний досвід із використання сучасних методів обстеження. Цей процес, як правило, триває не менше трьох років і вимагає значних зусиль і часу для глибокого освоєння.

Другий крок – навчання спеціалістів ефективного використання спеціалізованого обладнання, такого як тепловізори, лазерні далекоміри, термоанемометри і вологоміри. Завдяки цим інструментам можна детально оцінювати стан покрівлі, але опанування ними також потребує часу і практики.

Третім етапом стає аналіз та інтерпретація даних, отриманих під час обстежень. Спеціалісти мають уміти точно аналізувати зібрану інформацію, що вимагає досвіду і глибокого знання матеріалів покрівлі та їх поведінки за впливу різних чинників.

Висновки.

Проаналізувавши загальну кількість будинків та норми, які визначають частоту обстежень покрівель, взявши до уваги всі етапи підготовки і навички, необхідні фахівцям, а також умови повномасштабної війни, в якій сьогодні перебуває наша країна, можна зробити висновок, що підготовка кваліфікованих спеціалістів для

обстеження покрівель ресурсомістка і вимагає значних інвестицій часу та зусиль.

На жаль, за даними МВФ, населення України, яке у 2021 році налічувало 41 млн людей, демонструє тенденцію до зменшення. Відповідно до статистики, у 2022 році населення скоротилося до 35 млн, а до 2023 року — до 33,2 мільйона. Це означає, що стає менше кваліфікованих фахівців, які зможуть комплексно займатись обстеженням покрівель.

Загальний розгляд аспектів показав необхідність упровадження інноваційних рішень та нових підходів у сфері комплексного обстеження покрівель. Зокрема, це стосується ефективного виявлення дефектів покрівлі, складання комплексних звітів та кошторисів із максимальною економією часу, фінансових та людських ресурсів.

Наразі одним із новітніх напрямів стало використання штучного інтелекту (ШІ), серед методів якого є нейронні мережі. Нейромережі вже активно використовуються в різних сферах будівництва. Вони здатні змодельовати роботу людського мозку: навчатись та розпізнавати, а також обробляти складні набори даних.

За допомогою цієї технології було б можливо проводити точні швидкі обстеження та ідентифікацію дефектів покрівлі, а після цього – обробити отримані дані, скласти звіт та кошторис у короткі терміни.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закон України Про охорону праці. *Відомості Верховної Ради України*. 1992. № 49. Ст. 668. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text>
2. International Code Council. Maintaining Building Safety During the COVID-19 Pandemic Considerations for Virtual and Remote Inspections, April 8, 2020. URL: <https://www.iccsafe.org/wp-content/uploads/20-18670 GR Building Safety COVID-19 Inspection FINAL HIREs.pdf>
3. Закон про знесення хрущовок: як це працюватиме на практиці. URL: <https://yur-gazeta.com/dumka-eksperta/zakon-pro-znesennya-hrushchovok-yak-ce-pracyuvatime-na-praktici.html>
4. Вернер І.Є., Вишнеvsька О. А. Статистичний щорічник України 2020–2021. Київ : Державна служба статистики України, 2022.
5. Кабінет Міністрів України. Проект Закону про здійснення комплексної реконструкції кварталів (мікрорайонів) застарілого житлового фонду. Номер, дата реєстрації: 6458 від 22.12.2021.
6. ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016. Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану. Рекомендації щодо термінів обстежень об'єктів ГОСТ 31937-2011. Київ, 2017.

7. ДБН В.2.6-220:2017. Покриття будівель і споруд. Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2017.

REFERENCES

1. *Zakon Ukrainy Pro okhoronu pratsi* [Law of Ukraine on Labor Protection]. *Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy* [Information of the Verkhovna Rada of Ukraine]. 1992, no. 49, art. 668. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text> (in Ukrainian).
2. International Code Council. Maintaining Building Safety During the COVID-19 Pandemic Considerations for Virtual and Remote Inspections, April 8, 2020. URL: https://www.iccsafe.org/wp-content/uploads/20-18670_GR_Building_Safety_COVID-19_Inspection_FINAL_HIRES.pdf
3. *Zakon pro znesennya khrushchovok : yak tse pratsyuvatyne na praktytsi* [Law on Demolition of Khrushchevki: How It Will Work in Practice]. URL: <https://yur-gazeta.com/dumka-eksperta/zakon-pro-znesennya-hrushchovok-yak-ce-pracyuvatyne-na-praktici.html> (in Ukrainian).
4. Verner I.Ye. and Vyshnevskaya O.A. *Statystychnyy shchorichnyk Ukrainy 2020–2021* [Statistical Yearbook of Ukraine 2020–2021]. Kyiv : State Statistics Service of Ukraine, 2022. (in Ukrainian).
5. *Kabinet Ministriv Ukrainy. Proekt Zakonu pro zdiysnennya kompleksnoyi rekonstruktsiyi kvartaliv (mikrorayoniv) zastariloho zhytlovoho fondu. Nomer, data reyestratsiyi: 6458 vid 22.12.2021* [Cabinet of Ministers of Ukraine. Draft Law on Comprehensive Reconstruction of Obsolete Residential Quarters (Microdistricts). Number, date of registration: 6458 dated 22.12.2021]. (in Ukrainian).
6. *DSTU-N B V.1.2-18:2016. Nastanova shchodo obstezhennya budivel' i sporud dlya vyznachennya ta otsinky yikh tekhnichnogo stanu. Rekomendatsiyi shchodo terminiv obstezhen' ob'ektiv HOST 31937-2011* [DSTU-N B V.1.2-18:2016. Guidelines for the inspection of buildings and structures to determine and assess their technical condition. Recommendations regarding terms of inspection of facilities GOST 31937-2011]. Kyiv, 2017. (in Ukrainian).
7. *DBN V.2.6-220:2017. Pokryttya budivel' i sporud* [DBN V.2.6-220:2017. Covering buildings and structures]. Kyiv : Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Services of Ukraine, 2017. (in Ukrainian).

Надійшла до редакції: 13.09.2024.

УДК 351.863+338.246.87

DOI: 10.30838/UJCEA.2312.301024.92.1097

ОЦІНКА РИЗИКІВ ВИНИКНЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ В ЕНЕРГЕТИЧНОМУ СЕКТОРІ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

КІЧАТА Н. М.^{1*}, ас.,

ТРЕТЬЯКОВ О. В.², докт. техн. наук, проф.

^{1*} Кафедра цивільної та промислової безпеки ім. Героя України Олександра Сергійовича Чуба, Національний авіаційний університет, пр. Любомира Гузара 1, 03058, Київ, Україна, тел. +38 (066) 185-05-05, e-mail: naturly@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-6991-3970

² Кафедра цивільної та промислової безпеки ім. Героя України Олександра Сергійовича Чуба, Національний авіаційний університет, пр. Любомира Гузара 1, 03058, Київ, Україна, тел. +38 (097) 342-31-80, e-mail: mega_ovtr@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-0457-9553

Анотація. Постановка проблеми. Для ефективного підвищення безпеки об'єктів критичної інфраструктури в енергетичному секторі потрібно оцінити всі загрози та проаналізувати сценарії загроз для самого об'єкта. Загрози енергетичній безпеці – це можливість виникнення короточасних або тривалих ситуацій, реальних або потенційних факторів, явищ та подій, які можуть порушити стабільність та безпеку енергетичного сектора країни. Ці загрози можуть спричинити обмеження або порушення енергозабезпечення споживачів, аварії та інші негативні наслідки. У багатьох випадках вихід із ладу одного об'єкта або системи вплине на здатність взаємопов'язаних об'єктів або систем у тому чи іншому секторі виконувати свої функції. Для відносно стаціонарної системи важливо визначити ті компоненти або критичні вузли, де потенційні наслідки будуть найвищими і де потрібно зосередити заходи із безпеки та стійкості. **Мета статті** – розроблення і впровадження підходу до визначення ризиків надзвичайної ситуації на об'єктах критичної інфраструктури на прикладі Долинського газопереробного заводу (ГПЗ). **Висновки.** Розроблено і впроваджено підхід до визначення та оцінювання ризиків критичної інфраструктури енергетичного сектора, за допомогою якого виявляються потенційні вразливості об'єкта перед різними загрозами. Побудовано імітаційну модель для каскадних ефектів, яка дозволяє отримати ймовірнісні оцінки розвитку подій за визначеними сценаріями для об'єкта критичної інфраструктури.

Ключові слова: критична інфраструктура; ризики; загроза; енергетичний сектор; стійкість

ASSESSMENT OF THE RISKS OF EMERGENCY SITUATIONS IN THE ENERGY SECTOR OF CRITICAL INFRASTRUCTURE

KICHATA N.M.^{1*}, Ass.,

TRETYAKOV O.V.², Dr. Sc. (Tech.), Prof.

^{1*} Department of Civil and Industrial Security named after the Hero of Ukraine Oleksandr Serhiyovych Chub, National Aviation University, 1, Lubomyra Huzar Ave., Kyiv, 03058, Ukraine, tel. +38 (066) 185-05-05, e-mail: naturly@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-6991-3970

² Department of Civil and Industrial Security named after the Hero of Ukraine Oleksandr Serhiyovych Chub, National Aviation University, 1, Lubomyra Huzar Ave., Kyiv, 03058, Ukraine, tel. +38 (097) 342-31-80, e-mail: mega_ovtr@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-0457-9553

Abstract. Problem statement. In order to effectively increase the security of critical infrastructure in the energy sector, it is necessary to assess all threats and analyze threat scenarios for the facility itself. Threats to energy security are the possibility of short-term or long-term situations, real or potential factors, phenomena or events that may disrupt the stability and security of the country's energy sector. These threats can lead to restriction or disruption of energy supply to consumers, accidents and other negative consequences. In many cases, the failure of one facility or system will affect the ability of interconnected facilities or systems in the same or another sector to perform their functions. For a relatively stationary system, it is important to identify those components or critical nodes where the potential consequences will be highest and where security and resilience efforts need to be focused. The purpose of the article is to develop and implement an approach to determining the risks of an emergency situation at critical infrastructure facilities using the example of the Dolyna Gas Processing Plant (GPP). **Conclusions.** An approach to identifying and assessing the risks of the critical infrastructure of the energy sector was developed and implemented, with the help of

which potential vulnerabilities of the object to various threats are revealed. A simulation model for cascading effects has been built, which allows obtaining probabilistic estimates of the development of events under defined scenarios for a critical infrastructure object.

Keywords: *critical infrastructure; risks; threats; energy sector; sustainability*

Постановка проблеми. Забезпечення безпеки енергетики країни – це один із важливих, але складних аспектів системи управління державою у контексті національної безпеки. Об'єкти енергетики – ключові у забезпеченні функціонування підприємств усіх галузей економіки та задоволенні потреб в енергоресурсах для населення і соціально значущих установ.

Часто неможливо точно визначити збиток об'єктів критичної інфраструктури, який може виникнути внаслідок певної події, оскільки потенційних загроз та ризиків є величезна кількість. Крім того, збиток часто не обмежується лише матеріальними втратами, які можна виразити у грошовому еквіваленті, а й включає нематеріальні аспекти, що ускладнюють точну оцінку. Також досить складно точно визначити ймовірність виникнення небезпечної події, тому можна розглядати лише оцінки цих значень замість точних даних. Для досягнення надійних результатів важливо правильно визначити параметри та вхідні дані для проведення моделювання. Саме через це відсутність однієї загальновизнаної методики визначення ризиків надзвичайних ситуацій на критичних інфраструктурних об'єктах постає важливою проблемою.

Тому застосування імітаційної моделі для каскадних ефектів дозволяє отримати ймовірнісні оцінки розвитку подій за визначеними сценаріями та провести оцінення загроз для об'єктів критичної інфраструктури, враховуючи ймовірність настання подій і переходів між ними.

Аналіз останніх досліджень. Дослідження питань, пов'язаних з оцінкою ризиків виникнення надзвичайних ситуацій в енергетичному секторі критичної інфраструктури, наразі дуже актуальне. В сучасних умовах війни і загроз національній безпеці України в енергетичній сфері необхідно забезпечити технологічну,

технічну та економічну стійкість кожної державної системи. Вчасне виявлення та запобігання загрозам об'єктам критичної інфраструктури становить важливу частину державної політики щодо їх захисту.

Злагоджені дії державних органів у сфері прогнозування ризиків та протидія загрозам забезпечують надійний захист критичних об'єктів. Потребу інтеграції цих процедур у державну політику захисту критичної інфраструктури розглядали науковці Д. Г. Бобро, С. П. Іванюта, С. І. Кондратов, О. М. Суходоля [1]. Вони наголошують на важливості раннього виявлення та управління ризиками як ключових елементів безпеки критичної інфраструктури.

Комплексна оцінка ризиків може бути виправдана для всіх або більшості критично важливих елементів інфраструктури в певних районах, де можливі наслідки від порушень, руйнування або неправильної експлуатації особливо серйозні. Процедуру перевірки слід застосовувати до всіх інших складових інфраструктури, щоб зменшити навантаження на ті елементи, які можуть не потребувати повного аналізу ризиків.

Надзвичайні ситуації різного характеру суттєво впливають на соціальні, економічні, політичні та інші процеси в суспільстві. Тому управління ризиками в умовах різних надзвичайних ситуацій стає ключовим для об'єктів критичної інфраструктури з метою забезпечення стабільного розвитку та національної безпеки країни. Сучасний стан справ, упровадження новітніх технологій (особливо інформаційних), а також поява нових ризиків і загроз (зокрема, воєнних дій) вказують, що роль держави та її органів управління в цій сфері буде зростати в майбутньому.

Енергетичні системи організовані по-різному в кожній країні, але електромережа зазвичай складається з мережі окремих і фізично відокремлених об'єктів

інфраструктури, які є ключовими для виробництва, передачі, розподілу та контролю енергії. Часто вихід із ладу одного з компонентів (наприклад, електростанцій) спричинює збій усіх наступних компонентів, що в результаті викликає перебої в наданні цих послуг і всіх пов'язаних із ними послуг, що залежать від енергопостачання.

Наразі зростання загрози щодо зниження рівня безпеки важливих об'єктів критичної інфраструктури в Україні стало наслідком надмірної експлуатації споруд, конструкцій, обладнання та інженерних мереж, які вже досягли або перевищили свій проектний термін використання. Це створює серйозні ризики виникнення надзвичайних ситуацій природного або техногенного походження, що загрожують безпеці функціонування об'єктів критичної інфраструктури.

Мета статті – розроблення і впровадження підходу до визначення ризиків надзвичайної ситуації на об'єктах критичної інфраструктури на прикладі Долинського газопереробного заводу (ГПЗ).

Результати досліджень. Розроблено імітаційну модель для каскадних ефектів Долинського ГПЗ, яка дозволяє отримати ймовірнісні оцінки розвитку небезпечних подій за визначеними сценаріями.

Математична модель будується шляхом проведення таких процедур:

- визначення подій у сценарії розвитку ситуації (компоненти сценарію, що можуть мати потенційний вплив на реалізацію загрози);

- визначення множини можливих станів подій, що впливають на рівень загрози;

- формування сценаріїв розвитку загрози (визначення послідовних кроків, які ведуть до виникнення загрози) через індивідуальні елементи, що формують ланцюжки подій та їх переходи до заданих станів, це представлено у структурно-логічній моделі розвитку кризової ситуації з різними варіантами розвитку сценарію на прикладі об'єктів критичної інфраструктури;

- формування оргграфа сценаріїв загроз (структурно-логічна модель, що охоплює всі можливі сценарії реалізації загрози);

- оцінення ймовірностей різних подій і переходів між ними;

- оцінення ймовірності реалізації сценаріїв загроз.

Алгоритм реалізації цього підходу можна відобразити таким чином:

1. Ідентифікація небезпечних подій у сценарії розвитку ситуації (аспекти сценарію, які можуть вплинути на здійснення загрози).

Визначення подій у сценарії розвитку ситуації передбачає аналіз різних складових елементів, які можуть впливати на реалізацію загрози. Ці події можуть включати в себе такі явища як кібератаки, природні катастрофи, технічні збої, терористичні акти тощо. Позначимо множину таких елементів:

$$I = \{1, 2, \dots, n\}.$$

Паливно-енергетичний комплекс Долинський газопереробний завод публічного акціонерного товариства «Укрнафта» піддається багатьом ризикам.

Загрози для цього об'єкта такі: неконтрольована вирубка лісів у даному регіоні, яка спричинює повені, зсуви; для Долинського району характерні землетруси; застаріле устаткування у системі виробництва, яке може викликати збої апаратного забезпечення; кібератаки; пожежі; теракти; зменшення обсягів видобутку стає приводом до скорочення робочих місць; загроза від воєнних дій; фінансово-економічна скрута; соціальне напруження через не завжди лояльне ставлення місцевої влади до виробничників.

Ідентифікація ризиків в енергетичному секторі – неперервний процес, оскільки зовнішнє та внутрішнє середовище постійно зазнають змін. Ці зміни можуть створювати нові ризики або змінювати вже відомі.

2. На основі цих подій визначаються множини можливих станів подій на Долинському газопереробному заводі S_i – фактор небезпечної події, $S_{j,k}$ – індекси, які відповідають станам безпеки або небезпеки

об'єкта критичної інфраструктури для даної події.

До головних підрозділів Долинського виробництва належать дільниці компресування газу, переробки газу, зберігання сировини і готової продукції, відвантаження готової продукції, автогазонаповнювальна станція для реалізації газу на теренах Західної України. Основні технологічні об'єкти Долинського ГПЗ: компресорна станція, маслоабсорбційна та газофракційна установки.

Для забезпечення безперервного циклу Долинського ГПЗ на всіх його етапах виділено низку пріоритетних проектів у

рамках напрямів: будівництва та капітального ремонту наземної інфраструктури, сервісного обслуговування, виробництва та ремонту газового обладнання, проведення робіт зі збільшення продуктивності свердловин, пошуку і розвідки родовищ газу. Окремим важливим напрямом діяльності компанії залишається реалізація газу та продуктів його переробки.

3. Наступним етапом створюється структурно-логічна модель розвитку кризової ситуації з можливими сценаріями на об'єкті. Це може бути представлено у вигляді графа, де вузли відповідають різним станам системи, а ребра – переходам між ними (рис. 1).

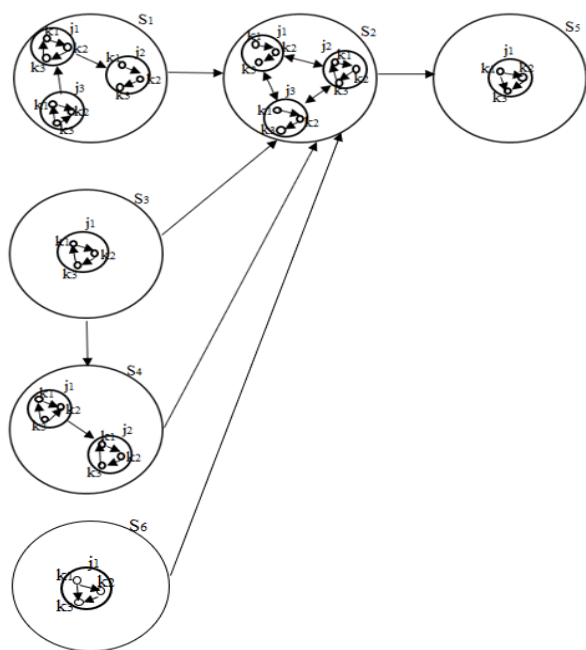


Рис. 1. Модель розвитку кризової ситуації унаслідок впливу небезпек на газопереробному заводі у вигляді оргграфа

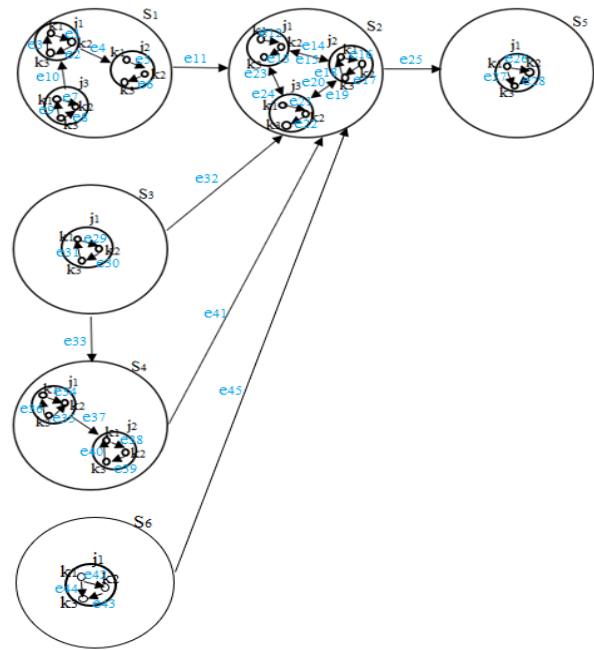


Рис. 2. Оргграф сценаріїв розвитку надзвичайних ситуацій на Долинському ГПЗ із визначенням імовірностей переходів подій

На рисунку 1 визначена $S = \{S_i\}$ – множина загальних небезпек різних факторів, де i – кількість елементів факторів (S_1 – природні, S_2 – техногенні, S_3 – кібератаки, S_4 – терористичні акти, S_5 – соціально-політичні фактори, S_6 – атака БПЛА); $J = \{j_n\}$ – множина небезпек одного фактора, де n – кількість елементів фактора (зсув, повінь, землетрус, пожежа, вибух, збій апаратного забезпечення, хакерська атака, теракт, масовий протест, атака

БПЛА); $K = \{K_n\}$ – множина небажаних подій на різних дільницях газопереробного заводу, де n – кількість дільниць газопереробного заводу.

4. Після створення моделі розвитку кризової ситуації можна визначити всі можливі сценарії загроз на Долинському ГПЗ. Будуємо структурно-логічну модель у вигляді оргграфа, яка відображає переходи одних подій в інші через їх послідовності та взаємозв'язки.

На рисунку 2 події зображені як вузли з відповідними ребрами (e_1, e_2, e_n). Кожне ребро e_n вказує на можливий шлях або перехід між конкретними станами системи, відображаючи рух від одного стану до іншого згідно з послідовністю подій.

5. Наступним кроком стає оцінення ймовірностей станів подій у сценарії загроз для Долинського ГПЗ. Для розрахунку ймовірнісних оцінок використовуємо статистичні дані щодо нашого об'єкта за певний період.

Припустимо, що стан події $i \in I$ описується дискретною випадковою

величиною x_i . Позначимо $p_i(s)$ – ймовірність перебування події, $i \in I$ в стані $s \in S_i$, тобто,

$$p_i(s) = P\{x_{ijk} = s\}, s \in S_i.$$

Кожне ребро орієнтовного графа буде мати відповідне значення P_{jk} де $0 \leq P \leq 1$. Припустимо, що величини $x_i, i \in I$ стохастично незалежні, а ймовірності $p_i(s) = P\{x_{ijk} = s\}, s \in S_i$ задані на основі статистичних даних. Тоді ймовірності переходів від однієї події до іншої подамо у вигляді значень, наведених у таблиці 1.

Таблиця 1

Матриця характеристики небезпечних подій

$P_{s_{1j_1k_1k_2}}(e_1)$	$P_{s_{1j_1k_2k_3}}(e_2)$	$P_{s_{1j_1k_3k_1}}(e_3)$	$P_{s_{1j_1j_2}}(e_4)$	$P_{s_{1j_2k_1k_2}}(e_5)$	$P_{s_{1j_2k_2k_3}}(e_6)$	$P_{s_{1j_3k_1k_2}}(e_7)$
0,25	0,25	0,25	0,2	0,6	0,6	0,1
$P_{s_{1j_3k_3k_2}}(e_8)$	$P_{s_{1j_3k_3k_1}}(e_9)$	$P_{s_{1j_3j_1}}(e_{10})$	$P_{s_{1s_2}}(e_{11})$	$P_{s_{2j_1k_1k_2}}(e_{12})$	$P_{s_{2j_1k_2k_3}}(e_{13})$	$P_{s_{2j_1j_2}}(e_{14})$
0,1	0,1	0,1	0,6	0,2	0,2	0,1
$P_{s_{2j_2j_1}}(e_{15})$	$P_{s_{2j_2k_1k_2}}(e_{16})$	$P_{s_{2j_2k_2k_3}}(e_{17})$	$P_{s_{2j_2k_3k_1}}(e_{18})$	$P_{s_{2j_2j_3}}(e_{19})$	$P_{s_{2j_3j_2}}(e_{20})$	$P_{s_{2j_3k_1k_2}}(e_{21})$
0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,01
$P_{s_{2j_3k_2k_3}}(e_{22})$	$P_{s_{2j_3j_1}}(e_{23})$	$P_{s_{2j_1j_3}}(e_{24})$	$P_{s_{2s_5}}(e_{25})$	$P_{s_{5j_1k_1k_2}}(e_{26})$	$P_{s_{5j_1k_1k_3}}(e_{27})$	$P_{s_{5j_1k_2k_3}}(e_{28})$
0,01	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1
$P_{s_{3j_1k_1k_2}}(e_{29})$	$P_{s_{3j_1k_2k_3}}(e_{30})$	$P_{s_{3j_1k_3k_1}}(e_{31})$	$P_{s_{3s_2}}(e_{32})$	$P_{s_{3s_4}}(e_{33})$	$P_{s_{4j_1k_1k_2}}(e_{34})$	$P_{s_{4j_1k_3k_2}}(e_{35})$
0,18	0,18	0,18	0,1	0,5	0,35	0,35
$P_{s_{4j_1k_3k_1}}(e_{36})$	$P_{s_{4j_1j_2}}(e_{37})$	$P_{s_{4j_2k_1k_2}}(e_{38})$	$P_{s_{4j_2k_2k_3}}(e_{39})$	$P_{s_{4j_2k_3k_1}}(e_{40})$	$P_{s_{4s_2}}(e_{41})$	
0,35	0,35	0,6	0,6	0,6	0,6	
$P_{s_{6j_1k_1k_2}}(e_{42})$	$P_{s_{6j_1k_2k_3}}(e_{43})$	$P_{s_{6j_1k_1k_3}}(e_{44})$	$P_{s_{6s_2}}(e_{45})$			
0,6	0,6	0,6	0,6			

На основі аналізу даних визначаються числові значення ймовірностей для кожного стану події та кожного можливого переходу між станами. Ймовірності можуть бути виражені у відсотках, дробах або інших формах, залежно від потреб моделювання. Аналіз даних відбувається на основі статистичних даних.

Звичайно природні фактори тісно пов'язані з техногенними. Ймовірність переходу природної надзвичайної ситуації в

техногенну на Прикарпатті може бути визначена шляхом аналізу різноманітних факторів, таких як географічне положення, природні умови, техногенна інфраструктура.

Долина розташована в гірському регіоні, це збільшує ризик природних небезпек (як зсуви, повені) на інфраструктуру промислових підприємств. Згідно з інформаційно-аналітичною довідкою про надзвичайні ситуації в Україні у 2023 році на Прикарпатті за рік було

зафіксовано сім надзвичайних ситуацій природного характеру [2].

Наприклад, у 2017 році в с. Витвиця відбулися зсуви середньої швидкості, сам завод не зачепило. Останній зсув у Долинському регіоні був у 2021 р. на дорозі Р-21 Долина–Хуст.

Паводки на карпатських річках повторюються 4–5 разів на рік [3]. За останні чотири роки найбільші повені на території Івано-Франківської області відбувалися в 2020 р. (в таких районах як Надвірнянський, Калуський, Коломийський були зафіксовані значні паводки, які призвели до руйнувань і затоплень населених пунктів, доріг та інфраструктури). У травні 2021 р., через значні опади у вигляді дощу та місцями граду, на території Івано-Франківської області відбулися різкі підйоми рівнів води в басейнах річок Дністер та Прут. Внаслідок негоди в м. Калуш підтоплено та пошкоджено житлові будинки; затоплено понад 6,3 тис. присадибних ділянок, пошкоджено с/г угіддя, розмито береги. У червні 2023 р., внаслідок інтенсивних дощів із штормовим вітром у Івано-Франківському, Коломийському, Косівському, Калуському районах відбувся різкий підйом рівнів води в потічках і гірських ріках басейну Прута та Дністра [4].

Сейсмічна активність фіксується постійно, але більшість землетрусів не відчутна. Останній раз сейсмічні поштовхи в м. Долина відчувались у 2020 р., потужність складала 3,2 за шкалою Ріхтера [5].

Промислові трубопроводи відіграють ключову роль у газовій промисловості, найчастіше пожежі відбуваються саме на них. Підприємства, які займаються видобуванням, транспортуванням та переробкою нафти, – основні джерела техногенних ризиків. Це пов'язано з викидами шкідливих речовин та виникненням аварійних ситуацій, таких як вибухи та пожежі.

Багатокілометрові промислові трубопроводи на нафтових і газових родовищах створюють потенційні загрози аварій. Щорічно на газопромислових

трубопроводах стається одна – дві аварії. Магістральні газопроводи – надзвичайно вибухонебезпечні об'єкти. На Долинському ГПЗ в магістральні газопроводи подається відбензинений осушений газ. Аварійний викид газу на одному магістральному газопроводі може спричинити ураження сусідніх газопроводів через вибух газової хмари [6].

Ймовірність виникнення пожежі на Долинському ГПЗ наразі, досить низька, завод виконує всі функції і відповідає усім вимогам нормативно-технічної документації. У роботі магістральних газопроводів відмови трубопроводів вважаються рідкісними та випадковими подіями. Їх частота та тривалість ліквідації значно залежать від місця розташування та умов експлуатації газопроводу.

Збої апаратного забезпечення на газопереробних заводах можуть виникати з різних причин, таких як технічні несправності, зношення або вік обладнання, неправильна експлуатація, вплив природних факторів чи людські помилки.

На Долинському ГПЗ в 2019 році було виявлено низку технічних неполадок, серед яких простежувалась невисока якість газових продуктів та відбувалось неефективне використання ресурсів, у 2020 році проведено планові ремонтні роботи на підприємстві. У 2021 році на цьому ГПЗ виконано роботи з реконструкції технологічного обладнання системи продувки установки сепарації газу. У 2023 році виконано регенерацію каталізатора, який пропрацював на заводі понад три роки (при терміні безперервної роботи 2–2,5 року) [7]. Тому наразі Долинський ГПЗ перебуває в модернізованому стані.

Серед потенційних небезпек особливе занепокоєння викликають спроби незаконного впливу на автоматизовані системи керування технологічними процесами на підприємствах та об'єктах інфраструктури; російсько-Українська кібервійна почалася з 2014 року. Долинський ГПЗ також зазнав втручання,

були виведені з ладу сервери та мережеві комутатори [7].

У 2020-му хакери атакували дата-центр «Укрнафти», як наслідок добу не працювали вебсайт акціонерного товариства «Укрнафта» (Долинський ГПЗ є структурною одиницею «Укрнафти»), в 2024 р. стався кібернапад на мережі та сервери газопостачальних компаній «Нафтогаз України» та «Газмережі», добу компанії не мали доступу до своєї інформаційної бази [8].

На жаль, загроза вчинення терактів залишається вкрай серйозною для України на сьогодні. Російські терористи продовжують атакувати всі об'єкти критичної інфраструктури по всій Україні, здійснюючи масовані ракетні обстріли по енергетичних об'єктах критичної інфраструктури. Івано-Франківська область також зазнає нападу терористів (жовтень 2022 р., грудень 2022 р., березень 2024 р., квітень 2024 р.) [9]. Оскільки напрямок прильоту ракети не може бути спрогнозованим, ймовірність ризику залишається досить високою.

Безпілотні літальні апарати (БПЛА) 26 лютого 2022 р. пошкодили газопровід на Шебелинському газопереробному заводі, через ризики воєнних дій роботу було зупинено. У лютому 2024 р. знову Шебелинське відділення з переробки газового конденсату і нафти було пошкоджене ворожими дронами.

Атака на газотранспортну систему може призвести до гуманітарної катастрофи серед цивільного населення та повністю паралізувати промислову діяльність. Газотранспортна система – одна з найбільш вразливих енергетичних систем, відновлення роботи якої вимагатиме тривалого часу. Крім того, атаки на газові сховища можуть мати катастрофічні наслідки.

Статистичні дані дозволяють отримати об'єктивне уявлення про розподіл, зв'язки та взаємозалежності між різними явищами.

Оцінення ймовірності реалізації сценаріїв загроз на Долинському ГПЗ стало завершальним етапом у процесі управління

ризиками і забезпечення стійкості критичної інфраструктури.

Ймовірність виникнення сценаріїв загроз можна розрахувати, використовуючи теорему повної ймовірності [55]:

$$P_{\text{сценарію}} = 1 - \prod (1 - P_{ijk}), (i \in A_k). \quad (1)$$

Відповідно даних із таблиці 1 та використовуючи формулу 1, отримуємо результати оцінювання ймовірності реалізації сценаріїв загроз для Долинського ГПЗ.

Таблиця 2

Результати розрахунків оцінювання сценаріїв

Сценарії загроз	Ймовірність виникнення
P ₁ (S ₁ , S ₂ , S ₅)	0,998 885
P ₂ (S ₃ , S ₂ , S ₅)	0,96
P ₃ (S ₃ , S ₄ , S ₂ , S ₅)	0,99 994
P ₄ (S ₆ , S ₂ , S ₅)	0,9979

Таким чином, можна визначити найбільш критичний сценарій загроз для заводу та виявити ключові події, які можуть спричинити інші каскадні ефекти. Аналізуючи отримані дані для Долинського ГПЗ, можна дійти висновку, що ймовірність реалізації будь-якого з цих сценаріїв досить висока.

Висновки.

Розроблена модель дозволяє оцінити значущість ризиків для Долинського ГПЗ та визначити потенційні загрози каскадних ефектів у різних можливих сценаріях подій на об'єкті критичної інфраструктури.

Для аналізу можливих наслідків загрози слід опиратися на інформацію про минулі інциденти, а також використовувати результати прогнозування негативних наслідків або моделювання кризових сценаріїв, які можуть виникнути в разі реалізації потенційних загроз.

Потенційні загрози каскадних ефектів можуть спровокувати ситуації, коли одна подія запускає послідовні ланцюгові реакції, що підсилюють її вплив і наслідки на об'єкт критичної інфраструктури. Це виявлення дозволить розробити управлінські заходи для запобігання та усунення таких небезпек у майбутньому.

Наприклад, упровадження системи моніторингу раннього виявлення потенційних небезпек (автоматизовані системи управління для виявлення аномалій); забезпечення охорони об'єктів, включаючи охоронні системи, відеоспостереження та контроль доступу, укріплення конструкцій та встановлення захисних бар'єрів для захисту від фізичних атак; упровадження сучасних засобів кіберзахисту, регулярне оновлення

програмного забезпечення та проведення тестувань на вразливість об'єкта; розроблення та впровадження планів реагування на надзвичайні ситуації; встановлення резервних джерел електроживлення; підтримка запасів важливих матеріалів та запасних частин для швидкого ремонту обладнання; регулярне технічне обслуговування та перевірка обладнання для запобігання несправностям.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бобро Д. Г., Іванюта С. П., Кондратов С. І., Суходоля О. М. Організаційні та правові аспекти забезпечення безпеки і стійкості критичної інфраструктури України : аналіт. доп. Київ : НІСД, 2019. 224 с.
2. Іванець Г. В. Аналіз стану техногенної, природної та соціальної небезпеки адміністративно-територіальних одиниць України на основі даних моніторингу. *Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил*. 2016. Вип. 3 (48). С. 142–145.
3. Звіт про оцінку можливих наслідків для довкілля від реалізації Стратегії розвитку Долинського субрегіону на період до 2027 року. Київ, 2017. URL: http://pleddg.org.ua/wp-content/uploads/2020/12/Skrining_Dol.pdf (дата звернення : 19.04.2024).
4. Інформаційно-аналітична довідка про надзвичайні ситуації в Україні у 2023 році. URL: <https://dsns.gov.ua/upload/2/0/2/2/3/1/4/2023-rik.pdf> (дата звернення : 19.04.2024).
5. Головний центр спеціального контролю. URL: <https://gcsk.gov.ua/ya-vidchuv-zemletrus/> (дата звернення: 19.04.2024).
6. Енергетика. Івано-Франківська обласна державна адміністрація : офіційний веб-сайт Івано-Франківської обласної державної адміністрації. URL: <http://www.if.gov.ua/modules.php?name=Content&pa=showpage&pid=728> (дата звернення : 19.04.2024).
7. Лазоришин І. Долинський газопереробний завод продовжує надійно працювати. 17.08.2020. *Агенція новин*. URL: <https://firtka.if.ua/blog/view/bogdan-deputat-nezvazhaiuchi-na-covid-19-ta-ekonomichnu-krizu-dolinskii-gazopererobnii-zavod-prodovzhuie-nadiino-pratsiuvati> (дата звернення : 19.04.2024).
8. Об'єкти «Нафтогазу» на заході України пошкоджено внаслідок ранкової атаки рф. *Інтерфакс*. URL: <https://interfax.com.ua/news/economic/975650.html> (дата звернення : 19.04.2024).
9. Вікіпедія. Удари по об'єктах критичної інфраструктури України під час російсько-української війни. URL: <https://uk.wikipedia.org> (дата звернення : 19.04.2024).
10. Іванюта С. П., Качинський А. Б. Екологічна та природно-техногенна безпека України : регіональний вимір загроз і ризиків : монографія. Київ : НІСД, 2012. 308 с.

REFERENCES

1. Bobro D.H., Ivaniuta S.P., Kondratov S.I. and Sukhodolia O.M. *Orhanizatsiini ta pravovi aspekty zabezpechennia bezpeky i stiikosti kry-tychnoi infrastruktury Ukrainy : analit. dop.* [Organizational and legal aspects of ensuring the safety and stability of critical infrastructure of Ukraine: analyst. add.]. Kyiv : NISD Publ., 2019, 224 p. (in Ukrainian).
2. Ivanets H.V. *Analiz stanu tekhnogennoi, pryrodnoi ta sotsialnoi nebezpeky administratyvno-terytorialnykh odynts Ukrainy na osnovi danykh monitorynhyu* [Analysis of the state of man-made, natural and social hazards of administrative-territorial units of Ukraine based on monitoring data]. *Zbirnyk naukovykh prats Kharkivskoho universytetu Povitrianykh Syl* [Collection of Scientific Works of Kharkiv Air Force University]. 2016, no. 3 (48), pp. 142–145. (in Ukrainian).
3. *Zvit pro otsinku mozhlyvykh naslidkiv dlia dovkillia vid realizatsii Stratehii rozvytku Dolynskoho subrehionu na period do 2027 roku* [Report on the assessment of possible consequences for the environment from the implementation of the Strategy for the Development of the Dolyna Subregion for the period until 2027]. Kyiv, 2017. URL: http://pleddg.org.ua/wp-content/uploads/2020/12/Skrining_Dol.pdf (date of application : 19.04.2024). (in Ukrainian).
4. *Informatsiino-analitychna dovidka pro nadzvychaini sytuatsii v Ukraini u 2023 rotsi* [Informational and analytical report on emergency situations in Ukraine in 2023]. URL: <https://dsns.gov.ua/upload/2/0/2/2/3/1/4/2023-rik.pdf> (date of application : 19.04.2024). (in Ukrainian).
5. *Holovnyi tsentr spetsialnoho kontroliu* [The main center of special control]. URL: <https://gcsk.gov.ua/ya->

vidchuv-zemletrus/ (date of application : 19.04.2024). (in Ukrainian).

6. *Enerhetyka. Ivano-Frankivska oblasna derzhavna administratsiia : ofitsiinyi veb-sait Ivano-Frankivskoi oblasnoi derzhavnoi administratsii* [Energy. Ivano-Frankivsk Regional State Administration : the official website of the Ivano-Frankivsk Regional State Administration]. URL: <http://www.if.gov.ua/modules.php?name=Content&pa=showpage&pid=728> (date of application : 19.04.2024). (in Ukrainian).

7. Lazoryshyn I. *Dolynskyi hazopererobnyi zavod prodovzhuie nadiino pratsiuvaty. 17.08.2020* [The Dolyna gas processing plant continues to operate reliably. 17.08.2020]. *Ahentsiia novyn* [News Agency]. URL: <https://firtka.if.ua/blog/view/bogdan-deputat-nezvazhaiuchi-na-covid-19-ta-ekonomichnu-krizu-dolinskii-gazopererobnii-zavod-prodovzhuie-nadiino-pratsiuvati> (date of application : 19.04.2024). (in Ukrainian).

8. *Obiekty «Naftohazu» na zakhodi Ukrainy poskodzheno vnaslidok rankovoi ataky RF* [Naftogaz facilities in the west of Ukraine were damaged as a result of the Russian attack in the morning]. *Interfaks* [Interfax]. URL: <https://interfax.com.ua/news/economic/975650.html> (date of application : 19.04.2024). (in Ukrainian).

9. *Wikipediia. Udary po ob'ekтах krytychnoi infrastruktury Ukrainy pid chas rosiisko-ukrainskoi viiny* [Wikipedia. Strikes on critical infrastructure facilities of Ukraine during the Russian-Ukrainian war]. URL: <https://uk.wikipedia.org> (date of application : 19.04.2024). (in Ukrainian).

10. Ivaniuta S.P. and Kachynskyi A.B. *Ekolohichna ta pryrodno-tekhnohenna bezpeka Ukrainy : rehionalnyi vymir zahroz i ryzykiv : monohrafiia* [Ecological and natural and man-made security of Ukraine : regional dimension of threats and risks : monograph]. Kyiv : NISD Publ., 2012, 308 p. (in Ukrainian).

Надійшла до редакції: 13.09.2024.

УДК 351.785(699.852)

DOI: 10.30838/UJCEA.2312.301024.101.1098

АНАЛІЗ БЕЗПЕКОВОЇ СИТУАЦІЇ ТА СТАНУ ПІДЗЕМНОГО СЕРЕДОВИЩА УКРАЇНИ

МІТИНА Н. Б.¹, канд. техн. наук, доц.,
КОГТЕВА О. П.^{2*}, Ph.D, ас.,
МАЛИНОВСЬКА Н. В.³, ст. виклад.,
МІНІНА Ю. О.⁴, асист.

¹ Кафедра біотехнології та безпеки життєдіяльності, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет», вул. Набережна Перемоги, 40, 49094, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 47-12-25, e-mail: natalimitina0000@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-5384-7040

^{2*} Кафедра біотехнології та безпеки життєдіяльності, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет», вул. Набережна Перемоги, 40, 49094, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 47-12-25, e-mail: olhakohtieva@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-7282-8243

³ Кафедра біотехнології та безпеки життєдіяльності, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет», вул. Набережна Перемоги, 40, 49094, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 47-12-25, e-mail: natalimalinovska57@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-6745-075X

⁴ Кафедра біотехнології та безпеки життєдіяльності, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет», вул. Набережна Перемоги, 40, 49094, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 47-12-25, e-mail: mininayuliya2985@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-9555-6471

Анотація. Постановка проблеми. Використання підземного простору для захисту цивільного населення, а також як можливість безпечного розташування невеликих промислових об'єктів, – актуальне завдання сьогодення, враховуючи воєнний стан у країні. **Мета** – дослідити використання підземного середовища України для безпеки населення, враховуючи наслідки за кількістю втрат серед цивільного населення під час ракетних обстрілів (за відкритими даними Організації Об'єднаних Націй) та привернути увагу до нестачі безпечних місць для перебування цивільного населення, проаналізувавши індивідуальний ризик на території України. Розроблено карту ризику за розрахунковими даними з позначенням зон ризику. **Висновки.** Теоретично, на основі аналізу історичного розвитку підземного будівництва у світі та на території України показано широкую увагу до підземного будівництва як із метою безпеки, так і в промисловому значенні. Означено види сучасних видів зброї та наслідки її застосування, проаналізовано дані щодо втрат серед цивільного населення залежно від територіальної приналежності з урахуванням індивідуального ризику. За аналізом відкритих даних ООН (кількості загиблих та поранених під час воєнних дій в Україні) та проведеними розрахунками ступеня ризику небезпеки розроблено карту зон ризику небезпеки за областями України з розподілом інтенсивності рівня ризику на зони надзвичайно високого ризику, відносно середнього, середнього та відносно низького.

Ключові слова: безпека; укриття; підземні споруди; травмування; загибель цивільних; ступень ризику; індивідуальний ризик

ANALYSIS OF THE SECURITY SITUATION AND THE STATE OF THE UNDERGROUND ENVIRONMENT IN UKRAINE

MITINA N.B.¹, Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.,
KOGTEVA O.P.^{2*}, PhD, Ass.,
MALINOVSKAYA N.V.³, Ass. of Prof.,
MININA Yu.O.⁴, Ass.

¹ Department of Biotechnology and Life Safety, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI “Ukrainian State Chemical and Technological University”, 40, Naberezhna Peremohy Str., Dnipro, 49094, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-12-25, e-mail: natalimitina0000@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-5384-7040

^{2*} Department of Biotechnology and Life Safety, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI “Ukrainian State Chemical and Technological University”, 40, Naberezhna Peremohy Str., Dnipro, 49094, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-12-25, e-mail: olhakohtieva@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-7282-8243

³ Department of Biotechnology and Life Safety, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI “Ukrainian State Chemical and Technological University”, 40, Naberezhna Peremohy Str., Dnipro, 49094, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-12-25, e-mail: natalimalinovska57@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-6745-075X

⁴ Department of Biotechnology and Life Safety, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI “Ukrainian State Chemical and Technological University”, 40, Naberezhna Peremohy Str., Dnipro, 49094, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-12-25, e-mail: mininayuliya2985@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-9555-6471

Abstract. Statement of the problem. The use of underground space for the protection of civilians, as well as an opportunity to ensure the safe location of small industrial facilities, is an urgent task today, given the martial law in the country. **Objective.** To investigate the use of the underground environment of Ukraine for the safety of the population, taking into account the consequences in terms of the number of civilian casualties during rocket attacks (according to open data of the United Nations) and to draw attention to the lack of safe places for civilians by analysing the individual risk in Ukraine. A risk map was developed based on the calculated data, indicating risk zones. **Conclusions.** Theoretically, based on the analysis of the historical development of underground construction in the world and in Ukraine, the article shows the wide attention to underground construction both for security and industrial purposes. The types of modern weapons and the consequences of their use are identified, and data on civilian casualties are analysed depending on the territorial affiliation, taking into account individual risk. Based on the analysis of open UN data (the number of deaths and injuries during the hostilities in Ukraine) and the calculations of the degree of danger risk, a map of danger risk zones by regions of Ukraine was developed, with the distribution of the risk level intensity into zones of extremely high risk, relatively medium, medium and relatively low risk.

Keywords: *safety; shelters; underground structures; injuries; civilian deaths; risk level; individual risk*

Постановка проблеми. Воєнна стратегія включає такі види: малі війни, звичайні, регіональні тощо. Але всі ці різновиди стосуються явищ, коли збройні сили однієї сторони протистоять збройним силам другої сторони. У таких війнах використовуються біологічні, ядерні, хімічні та різні нетрадиційні типи зброї, але, як правило, у класичних воєнних зіткненнях застосовують стандартну зброю або, як називають її на Заході – «летальне озброєння», що в першу чергу призначене для знищення сил ворога.

Існує також термін «симетрична війна», явище, що означає війну збройних сил, які ведуть агресивну політику з різними потенційними противниками, які згодом стають реальними [1].

Цивілізовані армії світу ніколи не використовуватимуть навіть високоточну зброю, якщо існує ризик того, що вона може зачепити або пошкодити цивільний об'єкт. Навіть застосування відносно високоточних «Калібрів» закінчується жертвами серед мирного населення [2].

Війна як суспільно-політичне явище має нескінченний характер. Разом із розвитком і технологізацією основних сфер життєдіяльності суспільства у світі війна прогресує та модернізується залежно від потреб і реалій геополітичної сучасності [3].

Аналіз публікацій. Згідно з дослідженнями США щодо Північної Кореї, армія має широку програму зміцнення об'єктів, майже вся передова артилерія може зберігатись у добре захищених підземних сховищах. Так, на початку 1990-х років Північна Корея мала 134 заводи з виробництва озброєнь, більшість із яких повністю чи частково приховані під землею [4]. Одна з відомих баз – США випробувальний і тренувальний полігон – Зона 51. Це засекречений воєнний об'єкт, тому лише за неофіційними даними основна робоча зона бази розміщена під землею [5].

Нині в межах Закарпаття виявлено залишки дев'яти залізобетонних спостережних пунктів, в конструкції яких був присутнім бронecilіндр. Ці споруди являють собою бункери, розташовані в різних вузлах оборони. Спільним у будові цих бункерів вхід до головного приміщення з торця – поруч та вздовж підпірної стінки.

На сьогодні в найбільш задовільному стані серед спостережних пунктів на терені Закарпаття перебуває один об'єкт.

Спостережні пункти лінії Арпада завдяки своїм захисним властивостям, що розраховані на протидію влучанням снарядів дрібного та середнього калібру, також могли виконувати функцію командних пунктів і сховищ. Нині ці бункери стали унікальними

пам'ятками військово-інженерної справи [6].

Із наведених у відкритих джерелах даних України можна зробити висновки, що укріплені райони України збудовані на найбільш важливих для тих років напрямках для прикриття стратегічно важливих об'єктів на території нашої країни; навіть після завданих руйнувань і збитків значна кількість – 758 ДФС УР перебувають у задовільному стані й можлива їх реконструкція [7].

Насьогодні найбільш поширений варіант вирішення питання безпеки, переважно для великих міст – це подвійне використання підземного паркінгу. Споруди подвійного призначення – наземні або підземні споруди чи їх частини спроектовані або пристосовані для використання за основним функціональним призначенням, зокрема, для захисту населення, в яких створені умови для тимчасового перебування людей.

Будування з урахуванням наявності сховища – це дорогий і довгостроковий варіант, тому в Україні будівництво за прикладом Ізраїлю поки що не розглядається [8; 9].

Автори [10–13] розглянули проблему використання за основним призначенням

наявних споруд цивільного захисту. Виявлено, що серед існуючих сховищ більшість зовсім непридатні до використання за призначенням (зруйновані, затоплені, немає належних систем життєзабезпечення), значна частина – це приватизовані об'єкти, що теж унеможливує вирішення проблеми. Автори дійшли висновку, що лише 10 % населення України можуть скористатись сховищем у разі небезпеки.

Тож, враховуючи воєнний стан та бойові дії, що не припиняються і на даний час мають все більше «гарячих точок» на мапі нашої країни, проблема пошуку безпечного середовища, на жаль, залишається актуальною [12; 13].

Мета статті – на основі аналізу статистичних даних проаналізувати індивідуальний ризик в умовах воєнного стану на території України за відкритими даними ООН та привернути увагу до проблеми нестачі безпечних місць перебування для цивільного населення.

Виклад матеріалу. Останні два роки територія України піддається ворожим обстрілам різними видами ракет, що несуть небезпеку руйнувань та загрозу людському життю (рис.1) [14; 15].



Рис. 1. Характеристики російських ракет

На жаль, незалежно від характеристик, всі ракети несуть руйнування та загибелі для цивільного населення. Тому основним захистом і гарантією безпеки стають

бомбосховища та сертифіковані укриття. Характер і масштаб руйнівної сили вражає (рис. 2) [16].



Рис.2. Руйнування та наслідки від ворожих ракет

Важливою характеристикою небезпеки стає шкода – якісна або кількісна оцінка збитків, заподіяних небезпекою.

Індивідуальний ризик під час воєнних дій – це нормований ризик у світовій практиці (прийнятий як 10^{-5}). Адже, окрім небезпеки фізичного характеру, він включає також психологічні та соціальні аспекти. Кожний окремих елемент шкоди має своє кількісне вираження: чисельність загиблих, кількість поранених чи хворих, площа ураженої території, вартість пошкоджених транспортних засобів тощо. Небезпека сама по собі вказує лише на потенційну

можливість спричинення шкоди. Для оцінення її імовірності та тяжкості прояву застосовують поняття ризику.

Для визначення показника індивідуального ризику для людини застосовували методику розрахунку ризику смертельної небезпеки, як частоти, за формулою [17; 18].

На основі вивчених та проаналізованих даних щодо поранення та втрат серед цивільного населення в період воєнних дій з 24.02.2022 по 15.02.2023 рік на території нашої країни побудовано діаграми розподілу чисельності за областями (рис. 3).

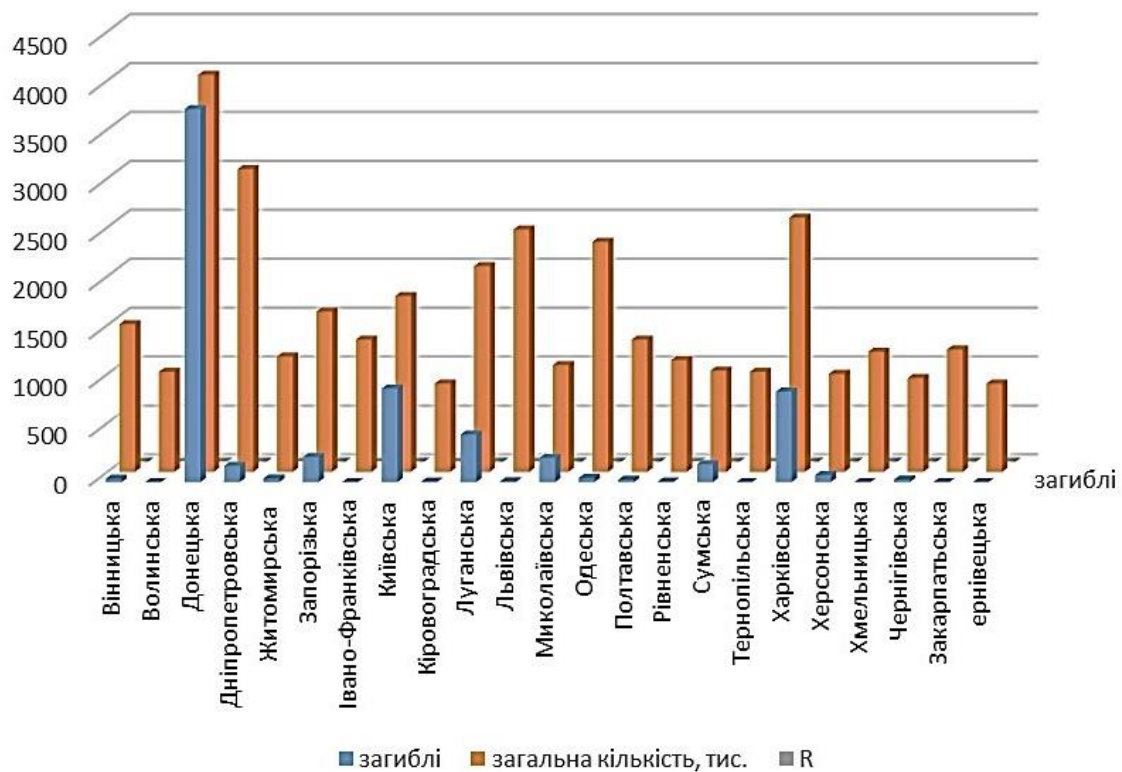


Рис.3. Діаграма втрат серед цивільного населення по областях за даними ООН [19]

Як видно з діаграми, розподіл загиблих та поранених серед цивільного населення нерівномірний, що зумовлено особливостями проходження лінії фронту, і як наслідок, суміжних областей.

Для наочного вигляду результатів у роботі запропоновано розподіл інтенсивності небезпеки позначити кольорами: червоний – зона надзвичайного високого ризику, помаранчевий – відносно середній ризик, жовтий – зона середнього ризику, зелений – зона відносно низького

ризик. Сірим кольором позначена територія півострова Крим, бо, згідно з даними ООН, немає інформації щодо кількості загиблих та поранених, а також загальної кількості жителів на цих територіях.

За результатами проведеного розрахунку ступеня ризику на карті України позначені кольорами зони розподілу інтенсивності рівня ризику по областях (рис. 4).

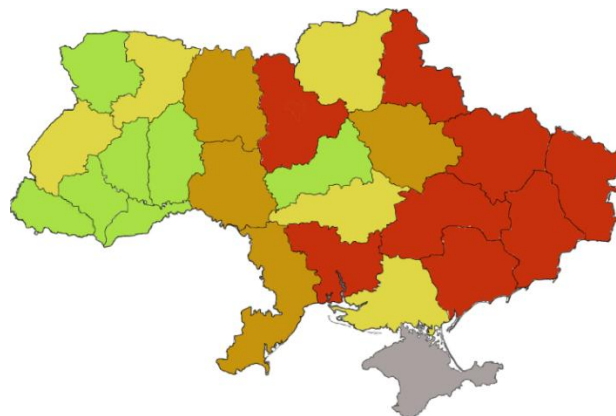


Рис. 4. Карта небезпек унаслідок воєнних дій з урахуванням індивідуального ризику

Від 24 лютого 2022 року до 24 вересня 2023 року Управління Верховного комісара ООН з прав людини (УВКПЛ) зафіксувало 27 449 втрат серед цивільного населення України: 9 701 загиблий і 17 748 поранених. Області з найбільшою кількістю втрат серед цивільних осіб: Донецька, Харківська, Київська, Херсонська і Луганська.

З огляду на отримані результати, а також враховуючи, що насправді кількість втрат може бути ще більшою за статистичні дані, увага до безпеки цивільного населення повинна бути приділена на 100 %, а особливо у зонах підвищеної небезпеки.

Так, для дії техногенних небезпек у цілому індивідуальний ризик вважається прийнятним, якщо його величина не перевищує 10^{-6} . Проведені розрахунки показали, що величина індивідуального ризику по областях складає переважно

високий рівень, що потребує особливої уваги з боку держави.

Висновки.

Теоретично, на основі аналізу історичного розвитку підземного будівництва в світі та на території України, показано можливість використання підземного середовища як захисної споруди.

Проаналізовано статистичні дані щодо поранень та втрат серед цивільного населення в період лютий 2022 р. – вересень 2023 р. внаслідок воєнних дій на території України за офіційними відкритими даними (без урахування території півострова Крим).

За проведеними розрахунками ступеня ризику небезпеки розроблено карту зон потенційного ризику небезпеки по областях України з розподілом інтенсивності рівня ризику за кольором від надзвичайного високого рівня ризику, відносно середнього, середнього до відносно низького.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Що таке гібридна війна? Концепція і тактика гібридної війни. URL: <http://faqukr.ru/novini-ta-suspilstvo/145715-shho-take-gibridna-vijnakoncepcija-i-taktika.html>
2. Володимир Даценко. Росія дедалі більше гатить по українських містах старими неточними ракетами. Скільки їх залишилося та чому ППО не дає повного захисту? Великий гайд. *Forbes* : веб-сайт. URL: <https://forbes.ua/inside/rosiya-vse-bilshe-gatit-po-ukrainskikh-mistakh-starimi-netochnimi-raketami-silki-ikh-zalishilos-ta-chomu-ppo-ne-dae-povnogo-zakhistu-velikiy-gayd-06072022-7020>
3. Комарчук О. О. Історичні та психологічні передумови виникнення гібридних війн. *Політикус*. 2016. Вип. 2. С. 5–9.
4. Eastler T. E. Military Use of Underground Terrain. *Studies in Military Geography and Geology*. Pp. 21–37. doi:10.1007/978-1-4020-3105-2_3.
5. Defense Daily : web-site. URL: <https://sofrep.com/news/deep-underground-and-secret-us-military-bases/>
6. Археологія & Фортифікація України. *Збірник матеріалів VIII Всеукраїнської науково-практичної конференції*. Редкол.: О. О. Заремба (відп. ред.) та ін. Кам'янець-Подільський : ПП Буйницький О. А., 2018. 394 с.
7. Коваль М. Укріплені райони України : сучасний стан та перспективи використання. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету ім. Володимира Гнатюка. Сер.: Історія*. Тернопіль : ТНПУ ім. В. Гнатюка, 2013. Вип. 2. С. 116–120.
8. Ірина Смирнова. Підвали з алкоголем та плазмами: як виглядають офісні бомбосховища. PG Недрукованість: веб-сайт. URL: <https://thepage.ua/ua/real-estate/yak-v-ukrayini-organizuyut-bomboshovisha-dlya-ofisiv>
9. Кодекс цивільного захисту України. РАДА : веб-сайт. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17#Text>
10. Хаткова Л., Дагіль В. Проблеми використання захисних споруд цивільного захисту в сучасних умовах. *Надзвичайні ситуації : попередження та ліквідація*. 2023. Т. 7, № 2. С. 256–265. URL: <https://doi.org/10.31731/2524.2636.2023.7.2.256.265>
11. Косяченко А. О., Когтева О. П. Аналіз стану підземного середовища України. *Сучасні проблеми професійної та цивільної безпеки : тези доповідей III Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції 28–29 квітня 2024 р., м. Дніпро*. Дніпро : УДУНТ–ННІ УДХТУ, 2024. С. 45–46.
12. Когтева О. П. Забезпечення безпеки при будівництві оборонно-промислових комплексів у використаних шахтах та розробках : дис....д-ра філософії 263 : Цивільна безпека. Дніпро, 2023. 162 с.
13. Когтева О. П., Сергієнко О. І., Мітіна Н. Б., Беліков А. С. Методика спостережень при веденні робіт в умовах деформації аروحного кріплення для удосконалення безпеки працівників. *Вісник Приазовського державного технічного університету*. 2022. Вип. 45. С. 120–125.

14. URL: https://x.com/ukraine_map/status/1736778969079226500
15. Army Recognition Group : web-site. URL: <https://armyrecognition.com/news/army-news/army-news-2024/putin-threatens-missile-deployment-in-response-to-western-support-for-ukraine>
16. Національна поліція України : веб-сайт. URL: <https://www.npu.gov.ua/news/protiahom-doby-rosiiany-zavdaly-24-udary-po-donechchyni-vbyly-dvokh-liudei-i-dvokh-poranyly>
17. Гогіташвілі Г. Г., Карчевські Є. Т., Лапін В. М. Управління охороною праці та ризиками за міжнародними стандартами : навч. посіб. Київ : Знання, 2007. 367 с.
18. Березуцький В. В., Адаменко М. І. Небезпечні виробничі ризики та надійність : навч. посіб. Харків : ФОП Панов А. М., 2016. 385 с.
19. ООН в Україні. URL: <https://ukraine.un.org/en>

REFERENCES

1. *Shcho take hibrydna viina? Kontseptsii i taktyka hibrydnoi viiny* [What is hybrid warfare? The concept and tactics of hybrid warfare]. URL: <http://faqukr.ru/novini-ta-suspilstvo/145715-shho-take-gibridna-vijnakoncepcija-i-taktika.html> (in Ukrainian).
2. Volodymyr Datsenko. *Rosiya dedali bil'she hatyt' po ukrayins'kykh mistakh starymy netochnymy raketamy. Skil'ky yikh zalyshylosya ta chomu PPO ne daye povnoho zakhystu? Velyky hayd* [Russia is increasingly hitting Ukrainian cities with old, inaccurate missiles. How many of them are left and why does air defense not provide full protection? Great guide]. *Forbes : veb-sayt* [Forbes : website]. URL: <https://forbes.ua/inside/rosiya-vse-bilshe-gatit-po-ukrainskikh-mistakh-starimi-netochnimi-raketami-skilki-ikh-zalishilos-ta-chomu-ppo-ne-dae-povnogo-zakhistu-velikiy-gayd-06072022-7020> (in Ukrainian).
3. Komarchuk O.O. *Istorychni ta psykholohichni peredumovy vynyknennia hibrydnykh viin* [Historical and psychological prerequisites for the emergence of hybrid wars]. *Politykus* [Politicus]. 2016, no. 2, pp. 5–9. (in Ukrainian).
4. Eastler T.E. Military Use of Underground Terrain. *Studies in Military Geography and Geology*. Pp. 21–37. doi:10.1007/978-1-4020-3105-2_3.
5. Defense Daily : web-site. URL: <https://sofrep.com/news/deep-underground-and-secret-us-military-bases/>
6. *Arkeolohiia & Fortyfikatsiia Ukrainy : zbirnyk materialiv VIII Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi zkonferentsii* [Archeology & Fortification of Ukraine : collection of materials of the 8th All-Ukrainian Scientific and Practical Conference]. Editor-in-chief : O.O. Zaremba (res. editor) and oth. Kamianets-Podilskyi : PP Buinytskyi O.A., 2018, 394 p. (in Ukrainian).
7. Koval M. *Ukripleni raiony Ukrainy : suchasnyi stan ta perspektyvy vykorystannia* [Fortified areas of Ukraine : current state and prospects of use]. *Naukovi zapysky Ternopil'skoho natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni Volodymyra Hnatiuka. Seriya : Istoriia* [Scientific Notes of Ternopil National Pedagogical University named after Volodymyr Hnatiuk. Series : History]. Ternopil : TNPU after V. Hnatiuka, 2013, no. 2, pp. 116–120. (in Ukrainian).
8. Iryna Smyrnova. *Pidvaly z alkoholem ta plazmamy: yak vyhlyadayut' ofisni bomboskhovishcha* [Cellars with alcohol and plasmas : what office bomb shelters look like]. *PG Nerukhomist' : veb-sayt* [PG Real Estate : website]. URL: <https://thepage.ua/ua/real-estate/yak-v-ukrayini-organizuyut-bomboshovisha-dlya-ofisiv> (in Ukrainian).
9. *Kodeks tsyvil'noho zakhystu Ukrayiny* [Code of Civil Protection of Ukraine]. RADA : veb-sayt [COUNCIL : website]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17#Text> (in Ukrainian).
10. Khatkova L. and Dahil V. *Problemy vykorystannia zakhysnykh sporud tsyvilnoho zakhystu v suchasnykh umovakh* [Problems of using protective structures of civil protection in modern conditions]. *Nadzvychni situatsii : poperedzhennia ta likvidatsiia* [Emergency Situations : Prevention and Elimination]. 2023, vol. 7, no. 2, pp. 256–265. URL: <https://doi.org/10.31731/2524.2636.2023.7.2.256.265> (in Ukrainian).
11. Kosiachenko A.O. and Kohtieva O.P. *Analiz stanu pidzemnoho seredovishcha Ukrainy* [Analysis of the condition of the underground environment of Ukraine]. *Suchasni problemy profesiinoi ta tsyvilnoi bezpeky : III Mizhnarodna naukovo-praktychna internet-konferentsiia, tezy dopovidei* [Modern Problems of Professional and Civil Safety : III International scient. and pract. internet conf., theses of reports]. April 28–29, Dnipro : USUST– ESI USChTU Publ., 2024, pp. 45–46. (in Ukrainian).
12. Kohtieva O.P. *Zabezpechennia bezpeky pry budivnytstvi oboronno-promyslovykh kompleksiv u vykorystanykh shakhtakh ta rozrobkakh : dys....d-ra filosofii 263 : Tsyvilna bezpeka* [Ensuring safety during the construction of defense-industrial complexes in used mines and developments : dissertation...doctor of philosophy 263 : Civil Safety]. Dnipro, 2023, 162 p. (in Ukrainian).
13. Kogteva O.P., Sergienko O.I., Mitina N.B. and Bielikov A.S. *Methodology of observations during work in the conditions of deformation of the arch attachment for improving the safety of workers* [Methodology of observations during work in the conditions of deformation of the arched fastening to improve the safety of workers]. *Bulletin of the Pryazovsky State Technical University* [Bulletin of the Azov State Technical University]. 2022, iss. 45, pp. 120–125. (in Ukrainian).
14. URL: https://x.com/ukraine_map/status/1736778969079226500

15. Army Recognition Group : web-site. URL: <https://armyrecognition.com/news/army-news/army-news-2024/putin-threatens-missile-deployment-in-response-to-western-support-for-ukraine>
16. *Natsional'na politsiya Ukrainy : veb-sayt* [National Police of Ukraine: website]. URL: <https://www.npu.gov.ua/news/protiahom-doby-rosiiany-zavdaly-24-udary-po-donechchyni-vbyly-dvokh-liudei-i-dvokh-poranyly> (in Ukrainian).
17. Hohitashvili H.H., Karchevski Ye.T. and Lapin V.M. *Upravlinnia okhoronoiu pratsi ta ryzykamy za mizhnarodnymi standartamy : navch. posib.* [Occupational safety and risk management according to international standards : training. manual]. Kyiv : Znannia Publ., 2007, 367 p. (in Ukrainian).
18. Berezutskyi V.V. and Adamenko M.I. *Nebezpechni vyrobnychi ryzyky ta nadiinist : navch. posibnyk* [Hazardous production risks and reliability : training. manual]. Kharkiv : FOP Panov A. M., 2016, 385 p. (in Ukrainian).
19. *OON v Ukraini* [The United Nations in Ukraine]. URL: <https://ukraine.un.org/en> (in Ukrainian).

Надійшла до редакції: 05.09.2024.

УДК 656.02

DOI: 10.30838/UJCEA.2312.301024.109.1099

ВИПРОБУВАННЯ ТА НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ ЛОГІСТИЧНИХ ХАБІВ В УКРАЇНІ

НЕСЕВРЯ П. І.^{1*}, канд. техн. наук, доц.,
ЛАГУТЧЕВ Д. М.², асп.

^{1*} Кафедра технології будівельного виробництва, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (066) 770-79-21, e-mail: nesevrya.pavlo@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0003-2371-7381

² Кафедра технології будівельного виробництва, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (050) 480-54-74, e-mail: lagutchev.dmytro@365.pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0009-0003-6028-3911

Анотація. Логістика, як ключовий елемент сучасних ланцюгів постачання стає об'єктом все більш глибокого інженерного дослідження та розвитку. Будівництво логістичних комплексів у сучасному світі – вирішальний аспект для розвитку та функціонування глобальних економічних систем, оскільки дозволяє оптимізувати ланцюги постачання та впорядкувати логістичні процеси для відповідності високим стандартам споживачів та бізнес-партнерів. Логістичні комплекси відіграють критичну роль у глобальній торгівлі, забезпечуючи швидке та ефективне доставлення товарів. Зростання обсягів електронної торгівлі підвищує їх значущість, вимагаючи більше простору для зберігання та обробки товарів. Ці комплекси стратегічно важливі для підприємств, оскільки сприяють підвищенню ефективності, скороченню часу доставлення та оптимізації витрат. Логістичні інфраструктури надають можливість гнучкого реагування на змінні умови ринку та підтримують конкурентоспроможність на міжнародному рівні. Відповідно, будівництво логістичних комплексів відіграє стратегічну роль у розвитку економіки та підтримці глобального бізнесу. **Мета роботи** полягає в оціненні, аналізі та обґрунтуванні організаційно-технологічних факторів для оптимізації будівництва логістичних комплексів. **Об'єкт дослідження:** будівництво логістичних комплексів як частина сучасних ланцюгів постачання та їх роль у глобальних економічних системах. **Предмет дослідження:** організаційно-технологічні фактори, які впливають на процес будівництва логістичних комплексів, а також методи їх оптимізації для підвищення ефективності та конкурентоспроможності логістичних систем.

Виклад матеріалу. Щоб досягнути мети дослідження, виконано такі завдання:

- проаналізовано сучасний стан складської логістики в Україні та ролі логістичних хабів;
- з'ясовано вплив інноваційних та стійких матеріалів на будівництво логістичних комплексів;
- досліджено забезпечення гнучкості та адаптивності логістичних комплексів до змінних ринкових умов;
- проаналізовано використання ресурсів під час будівництва.

Результати дослідження полягають у вдосконаленні організаційних та технологічних аспектів будівництва логістичних комплексів через ефективне управління будівельними процесами, впровадження інноваційних технологій та оптимізацію використання ресурсів. Такі заходи сприяють підвищенню продуктивності та конкурентоспроможності логістичних систем, а також сталому розвитку і підвищенню ефективності ланцюга постачання.

Ключові слова: логістика; інженерне дослідження; будівництво логістичних комплексів; ефективність; організаційно-технологічні фактори; оптимізація будівництва; логістичні хаби; інноваційні матеріали; ресурси

CHALLENGES AND OPPORTUNITIES FOR THE DEVELOPMENT OF LOGISTICS HUBS IN UKRAINE

NESEVRYA P.I.^{1*}, PhD (Eng.), Assoc. Prof.,
LAHUTCHEV D.M.², Postgrad. Stud.

^{1*} Department of Construction Technology, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Architect Oleh Petrov Str., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (066) 770-79-21, e-mail: nesevrya.pavlo@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0003-2371-7381

² Department of Construction Technology, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Architect Oleh Petrov Str., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (050) 480-54-74, e-mail: lagutchev.dmytro@365.pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0009-0003-6028-3911

Abstract. Logistics, as a key element of modern supply chains, is increasingly becoming the subject of deep engineering research and development. The construction of logistics complexes in today's world is a critical aspect for the development and functioning of global economic systems, as it allows optimizing supply chains and organizing logistics processes to meet the high standards of consumers and business partners. Logistics complexes play a crucial role in global trade by ensuring the fast and efficient delivery of goods. The growth of e-commerce volumes enhances their significance, requiring more space for the storage and processing of goods. These complexes are strategically important for enterprises as they contribute to efficiency improvement, delivery time reduction, and cost optimization. Logistic infrastructures provide flexibility to respond to changing market conditions and support competitiveness at the international level. Accordingly, the construction of logistics complexes plays a strategic role in economic development and supports global business. **Objective:** The work aims to assess, analyze, and justify organizational-technical factors in optimizing the construction of logistics complexes. **Research Object:** Construction of logistics complexes as part of modern supply chains and their role in global economic systems. **Research Subject:** Organizational-technical factors influencing the process of construction of logistics complexes, as well as methods for their optimization to enhance the efficiency and competitiveness of logistic systems.

Presentation of Material: To achieve the research objective, the following tasks were performed:

- analyzed the current state of warehouse logistics in Ukraine and the role of logistic hubs;
- analyzed the impact of innovative and sustainable materials on the construction of logistics complexes;
- studied the provision of flexibility and adaptability of logistics complexes to changing market conditions;
- analyzed resource utilization during construction.

Research Results: The research results focus on improving organizational and technological aspects of the construction of logistics complexes through effective management of construction processes, implementation of innovative technologies, and optimization of resource utilization. Such measures contribute to increased productivity and competitiveness of logistic systems, as well as sustainable development and enhanced efficiency of the supply chain.

Keywords: *logistics; engineering research; construction of logistics complexes; efficiency; organizational-technical factors; construction optimization; logistic hubs; innovative materials; resources*

Вступ. Розвиток складської логістики та логістичних хабів в Україні – важлива складова інфраструктурного прогресу та економічного зростання країни. Сучасний стан складської логістики в нашій країні демонструє позитивну динаміку, попри виклики, пов'язані з економічною нестабільністю та геополітичними факторами, а також ризиками, спричиненими війною.

Значним стимулом для розвитку складської логістики стала інтеграція України в європейські та світові ланцюги постачання, значною мірою зумовлені теперішньою ситуацією. Це викликає потребу у високоякісних складських приміщеннях, що відповідають міжнародним стандартам.

Логістичні хаби в Україні, такі як Київ, Львів, Одеса, відіграють ключову роль у забезпеченні ефективного переміщення товарів як усередині країни, так і за її межами. Київський регіон, завдяки своєму географічному положенню, стає основним

центром для дистрибуції товарів у центральній частині України. Львів – важливий логістичний вузол для західної частини країни, сприяючи торгівлі з Європейським союзом. Одеса, будучи великим морським портом та маючи вихід до річкового Дунайського порту, забезпечує значну частину міжнародних вантажоперевезень, зокрема, контейнерних, завдяки різноманітним можливостям для транспортування товарів.

Наздоганяє міста-лідери й Хмельницький завдяки своєму стратегічному розташуванню та розвиненій інфраструктурі, що робить його ключовим логістичним вузлом для зв'язку між різними регіонами України та Європи.

Війна значно вплинула на розвиток логістичних хабів у місті, сприяючи модернізації та розширенню транспортної інфраструктури, що дозволило підвищити ефективність та надійність вантажоперевезень в умовах підвищеного

попиту на швидке та безпечне доставлення товарів.

У сучасних умовах логістика виступає одним із базових бізнес-процесів, а від її ефективної організації залежить конкурентоспроможність, рентабельність та імідж підприємства на відповідних ринках. За даними різних досліджень та експертних оцінок, витрати на логістику можуть становити 10 – 20 % від загальних операційних витрат компаній. Ця частка може змінюватися залежно від галузі, розміру компанії та специфіки її діяльності. Вартість логістики включає витрати на транспорт, складське зберігання, обробку вантажів, митні процедури та інші пов'язані послуги.

В умовах війни та економічної нестабільності витрати можуть зрости через додаткові ризики, підвищену вартість палива, складності з логістичними маршрутами та інші фактори. Тому складська логістика постає однією з важливих складових інфраструктурного забезпечення розвитку економіки на всіх рівнях, а дослідження основних тенденцій розвитку цих послуг має велике теоретичне і прикладне значення.

Основні визначення логістичного центру та логістичного хабу.

Логістичний центр:

- Це спеціалізована установа або споруда, призначена для зберігання, обробки та розподілу товарів у логістичній мережі компанії або регіону.

- В основному використовується для зберігання товарів, їх перевантаження, упаковки, сортування та інших процесів, пов'язаних з керуванням запасами.

- Може бути розташований у містах або на околицях для зручного доступу до транспортних маршрутів.

Логістичний хаб:

- Це вузол у логістичній мережі, який забезпечує зв'язок між різними транспортними маршрутами та різними логістичними центрами.

- Функції хабу полягають у консолідації, деконсолідації та

перерозподілі товарів, а також у координації та оптимізації транспортних потоків.

- Зазвичай розташований у великих транспортних вузлах, таких як міжнародні аеропорти, морські та річкові порти, залізничні вузли тощо.

Сучасний стан галузі будівництва логістичних центрів та аналіз необхідності. Після розквіту будівництва логістичних центрів у 2020–2021 роках, початок повномасштабної війни спричинив значне зниження кількості складських комплексів через їх знищення або часткове пошкодження. Загалом тільки за 2022 рік у київському регіоні було зруйновано 400 тис. м² об'єктів логістичної нерухомості;

- повністю зруйновано склад «Фокстрот» у Гостомелі (майже 30 тис. м²). Частково знищений склад, розташований поруч (3 тис. м²);

- сильно пошкоджений один зі складів Dragon Capital (9 тис. м²);

- термінал Буча (теж Dragon Capital) сильно постраждав, із 30 тис. м² приблизно половина знищена;

- частково пошкоджено «Термінал Ворзель» (15 тис. м²);

- у Горенці сильно постраждав і на 90 % розпущений склад Kuehne+Nagel Ukraine, площею приблизно 5 тис. м², та офісне приміщення;

- логістичний парк «Комодор» (приблизно 75 тис. м²) у Калинівці повністю знищений;

- розподільний центр АТБ у Копиліві (Макарівський р-н) — із загальної площі 35 тис. м² сильно пошкоджено приблизно 10 тис. м²;

- West Gate Logistic, Dragon Capital (Стоянка, 100 тис. м²) практично весь знищений (разом із товарами орендарів Good Wine, Watsons, Bohnenkamp Україна, Ekol Logistics Ukraine, Logistic Plus);

- повністю знищено комплекс класу «А» площею приблизно 20 тис. м² «Юта сервіс» у Чайках;

- сильно постраждали Refrigerator Logistic Center (60 тис. м², основний орендар МХП, а також Fozzy Group);

- овочесховище (35 тис. м²) у Великій Димерці непридатне до операційної діяльності;

- логістичний центр АТБ (24 тис. м²) у Красилівці, поряд із Броварами, зруйнований на 80 %.

Багато компаній зі східних та центральних регіонів були змушені переміститися на захід України, що стимулювало розвиток цього регіону. Ринок логістичної нерухомості тільки у Львівській області збільшився на 80 тис. м² у 2023 році.

Після завершення війни ринок складської логістики стане одним із пріоритетних сегментів для відродження. Більшість девелоперів призупинили проекти, анонсовані на 2022–2023 роки, але за сприятливих умов вони зможуть завершити будівництво за 6–9 місяців. Це сприятиме швидкому відновленню галузі та задоволенню зростаючого попиту на логістичні послуги.

Перспективи відновлення та індустріальні комплекси. З початку повномасштабного вторгнення логістичні маршрути в Україні неодноразово змінювалися відповідно до поточної воєнної ситуації. Через повне припинення авіасполучення зросло навантаження на наземні перевезення — залізницею та автодорогами, а порти Дунайського кластера взяли на себе частину обсягів тимчасово заблокованих ключових морських портів. 70 % обсягів перевезень морського транспорту перейшло на сухопутний.

Через регіональний перерозподіл у схемі логістики Миколаївська та Херсонська області втратили свої позиції, де розташовані транспортні вузли для зовнішньої торгівлі. Харківська та Чернігівська області втратили позиції через кордон з рф. Центральні області, такі як Київська та інші, тільки починають оговтуватись від масштабних руйнувань навіть попри втрату понад 400 тис. м² якісних складів.

Відповідно до сьогоденних проблем Київський регіон залишається головним логістичним хабом, оскільки компанії з

окупованих та прилеглих до них територій, переносять сюди свої розподільні центри. Подібна тенденція вже відбувалась у 2014 році.

Львівський регіон та Волинь також залишаються одними з найперспективніших завдяки зручному розташуванню та хорошему транспортному положенню.

Значну роль у налагодженні нових логістичних ланцюжків відіграватимуть індустріальні парки.

Розвиток індустріальних парків тісно пов'язаний з розвитком логістики, адже ефективна інфраструктура стає ключовою для виробничих потужностей. Це сприяє створенню інтегрованих логістичних рішень та прискоренню відновлення економіки. Індустріальні парки важливі для зміцнення країни, будь то виробництво будівельних матеріалів чи продовольчих товарів. Вони пропонують інвесторам широкі можливості — від розміщення виробництва та складів до будівництва офісів та виставкових шоурумів. Сприятливі умови виходу на ринок гарантуються державою та внутрішніми партнерами, що забезпечують безпечний старт та підтримку.

Щоб стати частиною логістичної інфраструктури, індустріальні парки повинні мати доступ до залізничних шляхів та якісних доріг. Лише 10–15 % індустріальних парків України можуть бути такими логістичними хабами, адже часто трапляється, що дорога розташована далеко від парку або відсутня залізниця. У таких випадках логістичні хаби недоцільні через високі витрати, оскільки кожна гривня на кілометр шляху має значення. Наявність залізничної колії вкрай важлива, тому що перевезення залізницею дешевше автомобільного транспорту у 2–3 рази. Однак побудова 5 км нової залізничної колії до індустріального парку коштуватиме близько 4 млн доларів.

Перспективними бачаться змішані моделі хабів, такі як «сухий порт» плюс індустріальний парк, що дає додаткові можливості для експорту зернових, імпорту пального і будівельних матеріалів. Успішний розвиток індустріальних парків

можливий лише за умови тісної співпраці бізнесу та держави. Однак імплементація Закону про індустріальні парки наразі бажає кращого. Парки створюються виключно місцевими органами влади та приватними компаніями, що не ефективно з макроекономічного погляду. Україні потрібні масштабні проєкти, реалізовані на національному рівні з залученням Агентства відновлення і транспортних монополістів, таких як Укрзалізниця та Адміністрація морських портів. Це складні проєкти, що вимагають значних людських та фінансових ресурсів, а також підтримки міжнародних фінансових інституцій.

Актуальність будівництва логістичних комплексів. Скорочення кількості робочих складів і логістичних центрів через їх пошкодження або втрати у результаті окупації територій спричинило зміну місцеположень для комерційних підприємств. Багато орендарів перемістили свої операції з попередніх логістичних центрів до більш безпечних регіонів.

Ці заходи значно стимулювали попит на недостатньо розвинутий ринок складської логістики, що зумовило збільшення кількості запитів на висококласні логістичні центри зберігання.

У 2024 році будівництво логістичних комплексів в Україні стикається з низкою проблем, які необхідно вирішувати для забезпечення ефективного розвитку цього сектора.

Першим ключовим завданням стало планування до початку будівництва. Враховуючи змінювану ситуацію з безпекою та потребами ринку, ретельне попереднє планування стає основою для успішного проєкту. Воно включає аналіз місцезнаходження, оцінення ризиків та розроблення стратегій для мінімізації можливих проблем.

Другим важливим аспектом бачиться інтеграція сучасних технологій. Використання передових технологій у проєктуванні та будівництві дозволяє значно підвищити ефективність процесів. Наприклад, застосування сучасних методів сприяє поліпшенню якості та скороченню

термінів виконання робіт, а також суттєво впливає на фінальну вартість будівництва.

Третя проблема пов'язана зі зменшенням витрат на робочу силу. В умовах економічної нестабільності та дефіциту кваліфікованих кадрів необхідно шукати шляхи оптимізації витрат на робочу силу. Це може включати автоматизацію деяких процесів та використання технологій, що знижують залежність від людського фактора.

Четверте важливе завдання – скорочення часу будівництва. Швидке завершення будівельних робіт дозволяє швидше вводити об'єкти в експлуатацію та знижує ризики, пов'язані з довгостроковими інвестиціями. Для цього необхідно застосовувати ефективні будівельні методи та технології, а також ретельно планувати графік робіт.

Використання стійких та економічно ефективних матеріалів для скорочення тривалості будівництва відіграє ключову роль. Застосування інноваційних матеріалів, які забезпечують довговічність та зниження витрат на обслуговування, допомагає не лише прискорити будівництво, але й підвищити економічну ефективність проєктів.

Висновки.

Актуальність будівництва логістичних комплексів в Україні у 2024 році стає беззаперечною в умовах складної воєнно-політичної ситуації та економічної нестабільності. Переміщення підприємств із пошкоджених логістичних центрів до більш безпечних регіонів через окупацію територій і блокаду морських портів спричинило значний попит на нові логістичні комплекси. Це викликає необхідність ефективного розвитку сектора і вирішення низки ключових проблем.

Одним із важливих завдань стало планування перед будівництвом, що включає аналіз місцезнаходження та оцінення ризиків. Урахування змінюваної ситуації з безпекою та потребами ринку стає основою для успішного впровадження проєктів. Інтеграція сучасних технологій у

проектування та будівництво сприяє підвищенню ефективності та зниженню витрат, що є критичним у контексті економічної нестабільності та дефіциту робочої сили.

Другий важливий аспект – це скорочення часу будівництва, що дозволяє швидше вводити об'єкти в експлуатацію та знижує фінансові ризики. Використання ефективних будівельних методів і технологій разом зі стійкими матеріалами відіграє ключову роль у досягненні цих цілей.

Наступним важливим аспектом бачиться розміщення логістичних хабів на

західних кордонах України, що вимагає тісної координації між військовими та цивільними структурами для забезпечення гуманітарних потреб та збереження економічного зв'язку з Європейським союзом.

Отже, створення та розвиток логістичних комплексів в Україні – важлива складова стратегії країни у контексті сучасних викликів. Це вимагає комплексного підходу та значних інвестицій для забезпечення успішності та стійкості інфраструктурних проєктів на основі державно-приватного партнерства.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Логістика майбутнього : ефективні рішення : тези доп. міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. (Київ, 20 квіт. 2023 р.). Відп. ред. Н. Б. Ільченко. Київ : Держ. торг.-еко. ун-т, 2023. 239 с.
2. Нікогосян Н. І., Титок В. В., Цяцько О. О. Дослідження інфраструктури та вибір місця будівництва складу : логістичний підхід. Київ : Київський національний університет будівництва і архітектури, 2018. С. 2–3.
3. Warehouse and Distribution Construction Cost Trends 2023–2024. CBRE : website. URL: <https://www.cbre.com/insights/reports/warehouse-and-distribution-construction-cost-trends-2023-2024>
4. EURACTIVE : website. URL: <https://www.weforum.org/agenda/2024/05/logistics-growth-trends>
5. Ірина Настич. Логістика в Україні : зміна фокуса та перспектива відновлення. Property Times : website. URL: https://propertytimes.com.ua/industrialnaya_nedvizhemost/logistika_v_ukrayini_zmina_fokusa_ta_perspektivi_vidnovlennya
6. Круш П. В., Мегедь Ю. В. Сучасні інноваційні технології в логістичній діяльності. *Східна Європа : Економіка, бізнес та управління*. Київ : Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», 2018. Вип. 2, № 13.
7. Штучний інтелект. URL: <https://openai.com/gpt-4>

REFERENCES

1. *Lohistyka maybutn'oho : efektyvni rishennya : tezy dop. mizhnar. nauk.-prakt. internet-konf.* [Logistics of the Future: Efficient Solutions : Conference Proceedings of the International Scientific and Practical Internet Conference]. Kyiv, April 20, 2023, ed. by N.B. Ilchenko, Kyiv : State University of Trade and Economics, 2023, 239 p. (in Ukrainian).
2. Nikogosyan N.I., Titok V.V. and Tsiatsko O.O. *Doslidzhennya infrastruktury ta vybir mistysya budivnytstva skladu : Lohistychnyy pidkhid* [Research on Infrastructure and Site Selection for Warehouse Construction : a Logistic Approach]. Kyiv : Kyiv National University of Construction and Architecture, 2018, pp. 2–3. (in Ukrainian).
3. Warehouse and Distribution Construction Cost Trends 2023–2024. CBRE : website. URL: <https://www.cbre.com/insights/reports/warehouse-and-distribution-construction-cost-trends-2023-2024>
4. EURACTIVE : website. URL: <https://www.weforum.org/agenda/2024/05/logistics-growth-trends>
5. Iryna Nastych. *Lohistyka v Ukrayini : zmina fokusa ta perspektyva vidnovlennya* [Logistics in Ukraine: change of focus and prospects for recovery]. Property Times : website URL: https://propertytimes.com.ua/industrialnaya_nedvizhemost/logistika_v_ukrayini_zmina_fokusa_ta_perspektivi_vidnovlennya (in Ukrainian).
6. Krush P.V. and Meged Yu.V. *Suchasni innovatsiyni tekhnolohiyi v lohistychniy diyal'nosti* [Modern innovative technologies in logistics activity]. *Skhidna Yevropa : Ekonomika, biznes ta upravlinnya* [Eastern Europe : Economy, Business and Management]. Kyiv : National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, 2018, iss. 2, no. 13. (in Ukrainian).
7. *Shtuchnyy intelekt* [Artificial Intelligence]. URL: <https://openai.com/gpt-4> (in Ukrainian).

Надійшла до редакції: 15.09.2024.

УДК 728:658.589:620.9

DOI: 10.30838/UJCEA.2312.301024.115.1100

КАСКАДНІ КОТЕЛЬНІ ЯК СИСТЕМА ЖИТТЄЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД

ПАПІРНИК Р. Б.^{1*}, канд. техн. наук, доц.,

ДІКАРЕВ К. Б.², канд. техн. наук, доц.,

КАТАЄВ А. С.³, асп.,

КОВАЛЬ В. В.⁴, маг.

^{1*} Кафедра технології будівельного виробництва, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-33-51, e-mail: ruslan.b.papirnyk@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-7153-9378

² Кафедра технології будівельного виробництва, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-33-51, e-mail: dikarev.kostiantyn@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-9107-3667

³ Кафедра технології будівельного виробництва, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-33-51, e-mail: kataev2712@ukr.net, ORCID ID: 0009-0000-6303-1216

⁴ Кафедра публічного управління та адміністрування, Дніпровський державний аграрно-економічний університет, вул. Сергія Єфремова, 25, 49009, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 371-08-21, e-mail: valery.valeriyovich.koval.27@gmail.com, ORCID ID: 0009-0000-5875-1497

Анотація. *Постановка проблеми.* Руїнування та пошкодження енергетичної інфраструктури внаслідок війни спричиняють відключення систем життєзабезпечення, що негативно впливає на життя населення та економіку. Вивчення систем опалення в сучасних реаліях набуває великої актуальності та вимагає наукового обґрунтування, нових стратегічних рішень, а також організаційних, економічних та технологічних розробок для подолання нових викликів. Дослідження вказує на необхідність знаходження енергоефективних та легко відновлюваних альтернативних систем опалення. *Мета дослідження* – пошук альтернативних, індивідуальних систем життєзабезпечення будівель, які будуть більш енергоефективними, сучасними та швидко відновлюваними. Це включає системи, які можна відновити та використовувати незалежно від інших джерел живлення. *Методика* – аналітичні дослідження навантаження системи теплопостачання, технологічне дослідження системи теплозабезпечення будівель та споруд, аналіз та синтез наявних даних, порівняння ефективності каскадних котельень з іншими системами опалення. *Результати.* Виявлено, що каскадні котельні дозволяють заощадити паливні ресурси, знизити викиди, оптимізувати витрати та забезпечити стабільне теплопостачання. Вони знаходять застосування в різних галузях, від житлових будинків до великих промислових комплексів. У контексті сучасних викликів, таких як природні катастрофи, економічні кризи чи воєнні конфлікти, каскадні котельні виявляються незамінними, надійно забезпечуючи опалення та життєзабезпечення приміщень. Їх гнучкість у використанні, здатність до автоматизації та надійність роботи дозволяють ефективно вирішувати проблеми, пов'язані з теплопостачанням. *Наукова новизна.* Розглянуто впровадження каскадних котельень як альтернативного рішення для опалювання будинків у містах України, які постраждали від конфлікту, виокремивши їх переваги та потенціал для вирішення проблем, пов'язаних із руїнуванням традиційної енергетичної інфраструктури. *Практична значимість.* Актуальність пошуку інноваційних рішень забезпечення теплопостачання у будинки безпосередньо під час завершення та підготовка до нового опалювального сезону.

Ключові слова: каскадні котельні; системи життєзабезпечення; енергетична криза; автономність; енергоефективність

CASCADE BOILER PLANTS AS A LIFE SUPPORT SYSTEM FOR BUILDINGS AND STRUCTURES

PAPIRNYK R.B.^{1*}, Ph. D. (Tech.), Assoc. Prof.,

DIKAREV K.B.², Ph. D. (Tech.), Assoc. Prof.,

KATAEV A.S.³, Postgrad. Stud.,

KOVAL V.V.⁴, Master

^{1*} Department of Construction Technologies, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Architect Oleh Petrov Str., Dnipro, 49005, Ukraine, tel.+38 (056) 756-33-51, e-mail: ruslan.b.papirnyk@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-7153-9378

² Department of Construction Technologies, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Architect Oleh Petrov Str., Dnipro, 49005, Ukraine, tel.+38 (056) 756-33-51, e-mail: dikarev.kostiantyn@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-9107-3667

³ Department of Construction Technologies, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Architect Oleh Petrov Str., Dnipro, 49005, Ukraine, tel.+38 (056) 756-33-51, e-mail: kataev2712@ukr.net, ORCID ID: 0009-0000-6303-1216

⁴ Department of Public Administration, Dnipro State Agrarian and Economic University, 25, Serhiy Yefremov Str., Dnipro, 49009, Ukraine, tel. +38 (056) 371-08-21, e-mail: valery.valeriyovich.koval.27@gmail.com, ORCID ID: 0009-0000-5875-1497

Abstract. Problem statement. Destruction and damage to the energy infrastructure as a result of military operations lead to the shutdown of life support systems, which affects the lives of the population and the economy. The study of heating systems in modern realities is gaining great relevance and requires scientific substantiation, new strategic solutions, as well as organizational, economic and technological developments to overcome new challenges. The study points to the need to find energy-efficient and easily renewable alternative heating systems. **Purpose of the study.** The research objective is to identify alternative, individual building life support systems that are more energy-efficient, modern, and quickly recoverable. This includes systems that can be restored and used independently of other power sources. **Methods.** Analytical studies of the heat supply system load, technological study of the heat supply system of buildings and structures, analysis and synthesis of available data, comparison of the efficiency of cascade boiler houses with other heating systems. **Research results.** Cascade boiler systems have demonstrated significant potential for fuel savings, reduced emissions, and optimized operational costs. These systems have proven to be versatile, finding applications in various sectors, from residential buildings to large industrial complexes. Notably, cascade boiler systems have shown to be highly resilient in the face of modern challenges, such as natural disasters, economic crises, and conflicts, ensuring a reliable and efficient heat supply. **Scientific novelty.** The study explores the implementation of cascade boiler systems as an alternative heating solution for buildings in Ukrainian cities affected by the conflict, highlighting their advantages and potential to address challenges associated with the destruction of traditional energy infrastructure. **Practical significance.** The search for innovative heating solutions for buildings is highly relevant, especially as we approach the completion of construction projects and prepare for the upcoming heating season.

Keywords: cascade boilers; life support systems; energy crisis; autonomy; energy efficiency

Постановка проблеми. Вивчення систем опалення в сучасних реаліях набуває великої актуальності та вимагає наукового обґрунтування, нових стратегічних рішень, а також організаційних, економічних та технологічних розробок для подолання нових викликів. Недавнє завершення опалювального сезону, як приклад у м. Харків, було передчасним через нестачу електроенергії, спричинену російськими атаками на критичну інфраструктуру, що підкреслює актуальність пошуку інноваційних рішень.

Тривала війна в Україні значно вплинула на енергетичний сектор країни, створюючи серйозні виклики для інфраструктури та її стабільності. Енергетична інфраструктура, зокрема, електростанції, підстанції та опалювальні системи, була предметом обстрілів та руйнувань, що спричинити перебої у наданні важливих послуг та загрози життю населення.

Паливно-енергетична сфера в Україні зазнала серйозних змін через війну. Одна з найважливіших проблем – руйнування та пошкодження енергетичної інфраструктури внаслідок воєнних дій. Енергетичні об'єкти, такі як електростанції, підстанції та опалювальні системи, стали мішенями для обстрілів, що спричинило відключення систем життєзабезпечення будівель та загрозу для життя населення.

Знищення або пошкодження об'єктів критичної інфраструктури, які становлять основу енергетичної системи країни, стають причиною зменшення доступності паливних ресурсів та нестабільності в теплових та енергетичних мережах. Крім того, виникає проблема дефіциту комплектуючих для ремонту та обслуговування обладнання.

Розуміння викликів, з якими стикається енергетичний сектор у воєнний час, та розроблення стійких рішень особливо важливі для забезпечення добробуту населення та сталості інфраструктури. Це

дослідження спрямоване на розроблення стратегій енергетичної безпеки та ефективного управління інфраструктурою в умовах конфлікту.

У статті розглянуто впровадження каскадних котелень як альтернативного рішення для опалювання будинків у містах України, які постраждали від конфлікту, виокремивши їх переваги та потенціал для вирішення викликів, пов'язаних із руйнуванням традиційної енергетичної інфраструктури.

Мета дослідження – пошук альтернативних, індивідуальних систем життєзабезпечення будівель, які будуть більш енергоефективними, сучасними та швидко відновлюваними. Це включає системи, які можна відновити та

використовувати незалежно від інших джерел живлення.

Результати досліджень. Каскадні котельні – це системи опалення, які складаються з кількох котлів, що працюють разом як один функціональний блок. У такій системі кожен котел працює незалежно від інших, але спільно виробляє тепло для опалення будівлі. Ці котельні можуть використовуватися як для обігріву приватних будинків, так і для масштабних промислових та комерційних об'єктів [1].

Каскадні котельні (рис.) відмінно підходять для обігріву приватних будинків та малоповерхових житлових комплексів. Вони можуть бути легко адаптовані до потреб будинків різного розміру та конфігурації, забезпечуючи ефективне та комфортне опалення.



Рис. Каскадні котельні [5]

Для багатоквартирних будинків каскадні котельні стають оптимальним вибором, оскільки вони дозволяють забезпечити теплопостачання для кількох будинків одночасно. Це знижує витрати на енергію та підвищує стійкість системи. У великих промислових та комерційних об'єктах, таких як заводи, складські приміщення та торгові центри, каскадні котельні забезпечують надійне та ефективне опалення великих просторів. У транспортних вузлах, таких як термінали та аеропорти, де важливо підтримувати комфортну температуру для пасажирів та зберігати відправлені товари, каскадні котельні можуть забезпечити стабільне та ефективне опалення.

У промислових комплексах та тепличних господарствах, де потрібно підтримувати певну температуру для вирощування рослин або виробництва

продуктів, такі котельні забезпечують надійне та ефективне опалення.

Основні переваги використання каскадних котелень:

- **Енергоефективність:** забезпечують ефективне використання палива та знижують витрати на опалення.
- **Стійкість:** незалежність кожного котла забезпечує надійність та стійкість системи в цілому.
- **Модульність:** легко адаптуються до змінного обсягу теплопостачання.
- **Екологічність:** можуть працювати з альтернативними джерелами енергії, зменшуючи викиди CO₂ та інших шкідливих речовин [2].

Каскадні котельні – це відмінний вибір для забезпечення надійного, ефективного та екологічно чистого опалення в будь-яких умовах та типах об'єктів [2]. Цей вид з'єднання теплогенераторів поділяється на три типи, виходячи з методу роботи їх

пальників. Типи послідовного підключення котлів бувають такими:

- простий каскад – до його складу входять теплогенератори, що мають одноступінчасті або двоступінчасті пальники. Така система здатна збільшити потужність кожного нагрівача;

- змішаний каскад – включає різні теплогенератори, один з яких відрізняється пальником, що модулюється. При цьому саме на такий нагрівач встановлюється система управління температурою котлової води;

- модульовальний каскад – до його складу входять тільки теплогенератори з пальниками, що модулюються. Позитивна відмінність цього типу з'єднання від двох попередніх полягає в тому, що в ньому регулювання подачі палива відбувається плавно, а також є можливість змінювати продуктивність тепла в широкому діапазоні.

Неважко помітити, що головна відмінність трьох типів каскадного підключення котлів полягає в тому, якими пальниками вони обладнані. Адже саме пальники дуже впливають на функціонування системи опалення. Так, схема простого каскаду дозволяє регулювати виробництво тепла виключно покроково. Тому найоптимальнішим типом послідовного з'єднання котлів вважається каскад, що модулюється, навіть з урахуванням того, що застосування більше ніж двох ступенів зменшує продуктивність кожного нагрівача окремо.

Вся справа в тому, що агрегати з пальниками, які модулюються, дають можливість безступінчасто змінювати потужність системи, виходячи з потреб у тепловій енергії. Такий принцип роботи дозволяє знижувати витрату палива, а отже, і економити на опаленні [3].

Згідно з наведеною вище інформацією, саме каскад, що модулюється, можна назвати найефективнішим з усіх трьох типів таких з'єднань. Однак його реалізація залежить від трьох умов, виконання яких має бути передбачене на етапі проектних робіт. Підведення магістралей та контролерів має бути реалізоване з урахуванням потреби у незалежному

регулюванні циркуляції потоку через кожен із теплогенераторів. Якщо вода проходить через вимкнений нагрівач, її теплова енергія почне розсіюватися через теплообмінник або кожух агрегату. Незалежність такого регулювання досягається завдяки оснащенню всіх нагрівачів індивідуальними циркуляційними насосами [4].

Подавальна та зворотна магістралі для кожного теплогенератора повинні бути підключені паралельно. Це особливо важливо для конденсаційних котлів. Така схема дає можливість підтримувати температуру води однаковою на вході в кожен нагрівач, а також перешкоджає перетіканню теплоносія між контурами. При цьому збільшується і ККД усієї системи. Циркуляційні насоси повинні забезпечувати достатній потік теплоносія через котли, що функціонують, незалежно від показників витрати опалювальної системи. Для цього використовується гідравлічний роздільник низького тиску.

Гідравлічний роздільник низького тиску або гідравлічна стрілка – це сучасний та важливий елемент каскадного підключення. Його призначення – поділ первинного та вторинного контурів (тобто контурів котлів та споживачів), зі створенням зони зниження гідравлічного опору. Завдяки цьому витрата теплоносія в цих двох контурах залежатиме тільки від продуктивності циркуляційних насосів, які не впливатимуть один на одного. Такий роздільник створює гідравлічний та температурний баланс контурів.

Гідравлічна стрілка дозволяє підтримувати постійну витрату теплоносія у первинному контурі, а у вторинному – проводити його ефективне регулювання з урахуванням теплового навантаження. Така функція стала стандартом для сучасних опалювальних мереж. Вибір гідравлічного роздільника або стрілки проводиться за каталогом, виходячи з необхідної потужності теплогенератора та максимально можливої протоки теплоносія в системі.

Установка каскаду теплогенераторів проводиться у кілька етапів, кожен із яких включає приблизно такі дії:

- підготовчі роботи у приміщенні котельні, монтаж кріплень та нагрівачів;
- монтаж газової магістралі, дренажної лінії та гідравлічних колекторів;
- монтаж гідравлічної стрілки та групи безпеки;
- підключення колектора диму;
- пусконаладжувальні та перевірочні роботи, а також налаштування всіх систем автоматики [5].

Каскадування котлів – досить складна справа, у процесі реалізації якої необхідно враховувати велику кількість різноманітних нюансів. Тому створення системи теплопостачання такого типу потрібно довіряти лише кваліфікованим спеціалістам, здатним виконати всі роботи на належному рівні. Як розроблення, так і монтаж каскадного підключення котлів повинні виконувати компанії та професіонали, які знають специфіку таких схем, а також мають відповідні ліцензії та допуски. Увага до всіх дрібниць та відповідальний підхід до реалізації послідовного під'єднання теплогенераторів допоможуть створити надійну, ефективну та безпечну опалювальну систему, яка буде також економічною.

Каскадування котлів – це одна із схем з'єднання теплогенераторів, завдяки якій збільшується одинична потужність кожного нагрівального приладу. Такий метод підключення став виправданим та ефективним за великого теплового навантаження, а також у тому випадку, якщо з метою зменшення витрат на опалення встановлюються котлоагрегати, що працюють на різних видах палива.

Суть даної схеми полягає в такому: загальне теплове навантаження розділяється між декількома незалежно контрольованими теплогенераторами, після чого в каскад включаються тільки ті з них, які забезпечують потреби у виробництві тепла в даний проміжок часу. Послідовне або каскадне підключення котлів прийнято розділяти на «сходинок», кожною з яких є окремий нагрівач, а всі сходинок разом формують загальну потужність мережі теплопостачання [6].

У більшості випадків функціонування стандартних систем опалення та гарячого водопостачання забезпечує один котел, підбір якого проводиться виходячи з вимог максимально можливого для нього навантаження. Однак реальний стан справ може сильно відрізнятись від попередніх розрахунків. Як доводить практика, в більшості випадків протягом опалювального сезону нагрівальне обладнання працює не більше ніж на 50 % своєї потужності протягом 80 % часу. Більше того, якщо розглянути весь сезон експлуатації таких приладів, середнє завантаження на них становить від 25 до 45 %.

Таким чином, один теплогенератор великої потужності витратить зайве паливо і не зможе ефективно компенсувати теплові витрати. Винні в цьому наведені вище показники нерівномірного, а часто й малого навантаження. Відповіддю на проблему може стати каскадне підключення котлів.

Регулювання такої системи теплопостачання провадиться завдяки спеціальному мікроконтролеру або інтелектуальному контролеру. Його завдання – відстеження температури теплоносія та визначення того, скільки сходинок необхідно включити в роботу для того, щоб ця температура підтримувалася на заданому рівні. Завдяки такому регулюванню каскад котлів забезпечує плавну роботу всіх складових системи опалення на потрібній потужності (у широкому її діапазоні), незалежно від пори року.

Відбувається цей процес завдяки послідовному підключенню кількох теплогенераторів одного за іншим. Каскадне регулювання у поєднанні з програмним керуванням дозволяє визначити найкраще співвідношення потужності котельні та опалювальної системи. Цей принцип роботи дозволяє економити енергоресурси без зменшення комфортної температури у приміщеннях. Такий ефект досягається завдяки тому, що каскадна котельня здатна довго функціонувати на низькій температурі теплоносія у періоди міжсезоння та під час теплих зимових місяців [7].

З наведеної вище інформації стає зрозуміло, що послідовна схема підключення з декількома нагрівачами замість одного може набагато краще забезпечити розрахункові навантаження системи теплопостачання. Тому може виникнути припущення, що чим більше сходинок у цій схемі, тим ефективніше вона почне функціонувати. Однак це не зовсім так. Вся справа в тому, що разом зі збільшенням кількості таких теплових сходинок зростатимуть і площі поверхонь, через які відбувається тепловіддача.

Простіше кажучи, зростатимуть втрати теплової енергії через обшивку котлів. У результаті це може скасувати всі переваги від підвищення ККД каскадної системи підключення котлів. Тому вважається не доцільним використовувати більше чотирьох сходинок у цій схемі [8].

Застосування каскадних котелень в будівництві та спорудах:

1. *Житлові будинки та житлові комплекси.* Каскадні котельні ідеально підходять для обігріву житлових будинків та житлових комплексів. Вони можуть бути ефективно використані для подачі тепла великій кількості квартир, забезпечуючи комфортне життя мешканців.

2. *Комерційні та офісні будівлі.* У комерційних та офісних будівлях, де велика кількість людей потребує комфортних умов, каскадні котельні дозволяють ефективно контролювати температуру та забезпечувати стабільне теплопостачання.

3. *Спортивні та рекреаційні об'єкти.* У спортивних комплексах, басейнах та інших рекреаційних об'єктах, де важливо підтримувати оптимальні умови температури, каскадні котельні дозволяють забезпечити комфорт для користувачів.

4. *Готелі та громадські заклади.* У готелях та громадських закладах, де потрібно підтримувати комфорт для великої кількості гостей, каскадні котельні забезпечують ефективне опалення та гарячу воду [9].

Для детального ознайомлення проведемо аналіз ефективності каскадних котелень порівняно з іншими системами опалення (табл. 1) на основі дослідження Н. Д. Мартиненко «Розробка та впровадження каскадних котелень в комерційному будівництві». В 2022 на сторінках 67-74. та актуалізовані на сьогоднішній день.

Таблиця 1

Аналіз ефективності каскадних котелень порівняно з іншими системами опалення [10]

Тип будівлі/ Система опалення	Середньорічні витрати на опалення (грн/рік)	Середні втрати енергії (%)	Економія по витратах (%)
Житловий будинок (2-кімнатна квартира)	Каскадна котельня	12 000	15
	Газовий одноконтурний котел	17 000	25
	Електричне опалення	22 000	40
	Твердопаливний котел	14 000	18
Офісна будівля	Каскадна котельня	40 000	20
	Газова конденсаційна система	50 000	30
	Електричне опалення	60 000	45
Спортивний комплекс	Каскадна котельня	100 000	18
	Газові теплові насоси	120 000	25
	Дистанційне опалення (від ТЕЦ)	150 000	35

Таблиця надає порівняльний аналіз середньорічних витрат на опалення для різних типів будівель та систем опалення.

1. **Житловий будинок** (2-кімнатна квартира):

- Каскадна котельня. Середньорічні витрати складають 12 000 грн, що на 30 % менше, ніж у газового одноконтурного

котла та на 45 % менше, ніж у електричного опалення. Така система економічно вигідна та забезпечує значні заощадження.

- Газовий одноконтурний котел. Має середньорічні витрати 17 000 грн, але менш ефективний, ніж каскадна котельня.

- Електричне опалення. Споживає найбільше електроенергії та має найвищі витрати, які складають 22 000 грн на рік.

2. Офісна будівля:

- Каскадна котельня. Найефективніша та економічно вигідна система опалення, з середніми витратами 40 000 грн на рік.

- Газова конденсаційна система. Має більші витрати (50 000 грн), ніж каскадна котельня, але все ж ефективніша, ніж електричне опалення.

- Електричне опалення. Найменш ефективна система із середніми витратами 60 000 грн на рік.

3. Спортивний комплекс:

- Каскадна котельня. Має найнижчі витрати серед усіх систем опалення,

складаючи 100 000 грн на рік, що на 40 % менше, ніж у газових теплових насосів.

- Газові теплові насоси. Мають середні витрати 120 000 грн на рік.

- Дистанційне опалення (від ТЕЦ). Має найвищі витрати, аж 150 000 грн на рік.

Каскадні котельні виявляються найефективнішим та економічно вигідним варіантом опалення для різних типів будівель. Вони дозволяють значно зменшити витрати на опалення та забезпечують значні економічні вигоди порівняно з іншими системами опалення. Екологічні показники систем опалення наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Екологічні показники систем опалення [11]

Тип будівлі/ Система опалення	Кількість викидів CO ₂ (т/рік)	Кількість викидів NO _x (кг/рік)	Кількість викидів SO _x (кг/рік)
Житловий будинок (2-кімнатна квартира)	Каскадна котельня	6	20
	Газовий одноконтурний котел	8	25
	Електричне опалення	12	40
	Твердопаливний котел	7	22
Офісна будівля	Каскадна котельня	18	50
	Газова конденсаційна система	22	60
	Електричне опалення	30	80
Спортивний комплекс	Каскадна котельня	50	120
	Газові теплові насоси	60	150
	Дистанційне опалення (від ТЕЦ)	75	180

Згідно з наведеними даними, каскадні котельні виявляються більш ефективними та екологічно чистими порівняно з іншими системами опалення. Вони забезпечують значну економію коштів на опалення та мають менший вплив на навколишнє середовище завдяки зниженню викидів шкідливих речовин. Таблиця 2 надає порівняльний аналіз екологічних показників різних систем опалення за кількістю викидів CO₂, NO_x та SO_x.

1. Житловий будинок (2-кімнатна квартира):

- Каскадна котельня. Має найменшу кількість викидів CO₂, NO_x та SO_x, що складає 6 т, 20 кг та 15 кг відповідно.

- Газовий одноконтурний котел. Має дещо більше викидів CO₂, NO_x та SO_x, ніж каскадна котельня.

- Електричне опалення. Найбільш забруднювальне джерело, з найбільшими кількостями викидів CO₂, NO_x та SO_x.

2. Офісна будівля:

- Каскадна котельня. Знову має найменші викиди серед усіх систем опалення, що демонструє її екологічну чистоту.

- Газова конденсаційна система. Має більше викидів порівняно з каскадною котельнею, але все ж менше, ніж електричне опалення.

- Електричне опалення. Найбільш забруднювальне джерело, аналогічно до житлового будинку.

3. Спортивний комплекс:

- Каскадна котельня. Знову демонструє найкращі екологічні показники з найменшими викидами CO₂, NO_x та SO_x.

- Газові теплові насоси. Мають більше викидів, ніж каскадні котельні, але менше, ніж дистанційне опалення.

- Дистанційне опалення (від ТЕЦ). Найбільш забруднювальний варіант, із найвищими викидами CO₂, NO_x та SO_x.

Каскадні котельні виявляються найекологічнішим варіантом опалення у всіх типах будівель, оскільки вони мають найменші викиди CO₂, NO_x та SO_x. Це робить їх привабливими як із погляду екології, так і з погляду збереження здоров'я населення. Газові котельні менш забруднювальні, ніж електричні системи, але все ж дають більше викидів порівняно з каскадними котельнями.

Інноваційні елементи каскадних котелень дозволяють забезпечувати ефективне та надійне опалення будівель та споруд, зменшуючи витрати енергоресурсів та забруднення довкілля. Каскадні котельні можуть бути успішно використані в різних типах будівель і споруд. Вони широко застосовуються в житлових комплексах, промислових підприємствах, готелях, медичних закладах, освітніх закладах та інших сферах. Їх використання дозволяє забезпечити ефективне опалення приміщень, зменшуючи витрати енергоресурсів та негативний вплив на довкілля [12].

Наприклад, у процесі будівництва великих житлових комплексів, таких як ЖК «Щасливий» у Дніпрі та ЖК «Дніпровська Брама», де потрібно опалювати багато квартир, постало питання, а чи могли б каскадні котельні забезпечити надійне опалення для всіх мешканців, зменшивши кількість викидів.

Саме тут і постало питання ефективності централізованого каскадного опалення на комплекс чи індивідуального опалення, яке розташоване у кожній квартирі. Однозначної відповіді на питання, який тип опалення більш ефективний, поки немає.

Подальша робота буде направлена на пошук та аналіз отриманих даних, урахування всіх плюсів та мінусів, перш ніж приймати рішення про подальше встановлення певного типу опалення.

Висновки.

Каскадні котельні, як інноваційна система опалення, виявляються надзвичайно ефективним та перспективним рішенням для забезпечення теплом будівель та споруд у сучасних умовах. У цій аналітичній статті розглянуто різні аспекти застосування каскадних котелень, переваги, важливість та перспективи використання. У контексті сучасних умов, таких як природні катастрофи, економічні кризи чи воєнні конфлікти, каскадні котельні виявляються незамінними, надійно забезпечуючи опалення та життєзабезпечення будівель. Їх гнучкість у використанні, здатність до автоматизації та надійність роботи дозволяють ефективно вирішувати проблеми, пов'язані з теплопостачанням.

Каскадні котельні дозволяють заощадити паливні ресурси, знизити викиди, оптимізувати витрати та забезпечити стабільне теплопостачання. Вони знаходять застосування в різних галузях, від житлових будинків до великих промислових комплексів. Окремо варто зазначити, що каскадні котельні стають особливо актуальними в умовах війни. Вони складають частину інфраструктури, яка забезпечує життєво важливі послуги для населення, навіть у найважчих умовах [15].

Загалом каскадні котельні виявляються ефективним та перспективним рішенням для забезпечення теплом будівель та споруд. Широкі можливості, надійність та ефективність роботи роблять їх важливим елементом сучасних систем життєзабезпечення. Подальші дослідження та розвиток у цій галузі обіцяють ще більше інновацій та поліпшень, які сприятимуть стабільному, ефективному та екологічно чистому опаленню у майбутньому.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Щуров І. Методологія системної трансформації енергетичного сектора національної економіки в умовах енергетичного переходу. *Економічний вісник НТУУ «Київський політехнічний інститут»*. 2022. № 23. С. 90–95.
2. Павліха Н. В. та ін. Безпека сталого розвитку регіонів та територіальних громад України на засадах інклюзивного зростання: монографія. Луцьк : Вежа-Друк, 2022. 514 с.
3. Ігор Терехов розповів про підготовку Харкова до наступного опалювального сезону. *Офіційний сайт Харківської міської ради, міського голови, виконавчого комітету*. 2023. URL: <https://www.city.kharkiv.ua/uk/news/-55682.html> (дата звернення: 09.04.2024 року).
4. Щуров І. В. Управління енергетичною безпекою економічного середовища : парадигмальні характеристики. *Innovation and Sustainability*. 2022. № 3. С. 193–198.
5. Іваненко В. М. Ефективність використання каскадних котельні в системах опалення промислових об'єктів. *Енергетика України*. 2019. С.45–53.
6. Коваленко О. П. Дослідження можливостей застосування каскадних котельні в житлових будинках. *Журнал будівництва та архітектури*. 2019. С. 78–85.
7. Петренко С. І. Оптимізація використання палива в каскадних системах опалення приватних будинків. *Енергетика та теплотехніка*. 2020. С. 34–42.
8. Грищенко І. В. Аналіз надійності каскадних котельні в умовах міста. *Теплоенергетика та інженерія будівництва*. 2021. С. 55–63.
9. Козлов В. О. Перспективи впровадження каскадних котельні в житлові комплекси. *Журнал енергетичного менеджменту*. 2019. С. 23–31.
10. Мартиненко Н. Д. Розробка та впровадження каскадних котельні в комерційному будівництві. *Енергозбереження та енергоефективність*. 2022. С. 67–74.
11. Павленко Г. М. Економічні аспекти використання каскадних котельні в житлових будинках. *Економіка та енергетика*. 2021. С. 112–120.
12. Сидоренко В. Г. Використання каскадних котельні для підвищення енергоефективності підприємств. *Енергетичний менеджмент*. 2021. С. 87–94.
13. Поляков С. М. Аналіз впливу каскадних котельні на якість повітря в міських районах. *Екологія та природничі ресурси*. 2019. С. 102–110.

REFERENCES

1. Shchurov I. *Metodolohiia systemnoi transformatsii enerhetychnoho sektora natsionalnoi ekonomiky v umovakh enerhetychnoho perekhodu* [Methodology of systemic transformation of the energy sector of the national economy in the conditions of the energy transition]. *Ekonomicnyi visnyk NTUU "Kyivskiy politekhnichnyi instytut"* [Economic bulletin of NTUU "Kyiv Polytechnic Institute"]. 2022, vol. 23, pp. 90–95. (in Ukrainian).
2. Pavlikha N.V. and oth. *Bezpeka staloho rozvytku rehioniv ta terytorialnykh hromad Ukrainy na zasadakh inkluzyynoho zrostantia : monohrafiia* [Security of sustainable development of region and territorial communities of Ukraine on the basis of inclusive growth : monograph]. Luts'k : Vezha-Druk Publ., 2022, 514 p. (in Ukrainian).
3. Ihor Terekhov rozpoviv pro pidhotovku Kharkova do nastupnoho opaliuvalnoho sezonu [Ihor Terekhov spoke about Kharkiv's preparations for the next heating season]. *Ofitsiyniy sait Kharkivskoi miskoi rady, miskoho hoholovy, vykonavchoho komitetu* [Official website of Kharkiv City Council, Mayor, Executive Committee]. 2023. URL: <https://www.city.kharkiv.ua/uk/news/-55682.html> (date of application : 09.04.2024). (in Ukrainian).
4. Shchurov I.V. *Upravlinnia enerhetychnoiu bezpekoiu ekonomichnoho seredovyscha : paradyhmalni kharakterystyky* [Management of energy security of the economic environment : paradigmatic characteristics]. *Innovation and Sustainability*. 2022, vol. 3, pp. 193–198. (in Ukrainian).
5. Ivanenko V.M. *Efektivnist vykorystannia kaskadnykh kotelni v systemakh opalennia promyslovykh obiektiv* [Effectiveness of using cascade boilers in heating systems of industrial facilities]. *Enerhetyka Ukrainy* [Energy of Ukraine]. 2019, pp. 45–53. (in Ukrainian).
6. Kovalenko O.P. *Doslidzhennia mozhlyvostei zastosuvannia kaskadnykh kotelni v zhytlovykh budynkakh* [Research on the possibilities of using cascade boilers in residential buildings]. *Zhurnal budivnytstva ta arkhitektury* [Construction and Architecture Magazine]. 2019, pp. 78–85. (in Ukrainian).
7. Petrenko S.I. *Optimizatsiia vykorystannia palyva v kaskadnykh systemakh opalennia pryvatnykh budynkiv* [Optimization of fuel use in cascade heating systems of private houses]. *Enerhetyka ta teplotekhnika* [Energy and Heat Engineering]. 2020, pp. 34–42. (in Ukrainian).
8. Hryshchenko I.V. *Analiz nadiinosti kaskadnykh kotelni v umovakh mista* [Reliability analysis of cascade boiler houses in city conditions]. *Teploenerhetyka ta inzheneriia budivnytstva* [Thermal Power Engineering and Construction Engineering]. 2021, pp. 55–63. (in Ukrainian).

9. Kozlov V.O. *Perspektyvy vprovadzhennia kaskadnykh kotelni v zhytlovi komplekсы* [Prospects for the implementation of cascade boilers in residential complexes]. *Zhurnal enerhetychnoho menedzhmentu* [Journal of Energy Management]. 2019, pp. 23–31. (in Ukrainian).

10. Martynenko N.D. *Rozrobka ta vprovadzhennia kaskadnykh kotelni v komertsiiomu budivnytstvi* [Development and implementation of cascade boilers in commercial construction]. *Enerhozbezrehennia ta enerhoefektyvnist* [Energysaving and energyefficiency]. 2022, pp. 67–74. (in Ukrainian).

11. Pavlenko H.M. *Ekonomichni aspekty vykorystannia kaskadnykh kotelni v zhytlovykh budynkakh* [Economic aspects of using cascade boilers in residential buildings]. *Ekonomika ta enerhetyka* [Economy and Energy]. 2021, pp. 112–120. (in Ukrainian).

12. Sydorenko V. H. *Vykorystannia kaskadnykh kotelni dlia pidvyshchennia enerhoefektyvnosti pidpriemstv* [The use of cascading boiler houses to increase the energy efficiency of enterprises]. *Enerhetychnyi menedzhment* [Energymanagement]. 2021, pp. 87–94. (in Ukrainian).

13. Poliakov S.M. *Analiz vplyvu kaskadnykh kotelen na yakist povitria v miskykhraionakh* [Analysis of the influence of cascade boilers on air quality in urban areas]. *Ekolohiia ta pryrodnychi resursy* [Ecology and Natural Resources]. 2019, pp.102–110. (in Ukrainian).

Надійшла до редакції : 13.09.2024.

УДК 69:658.589

DOI: 10.30838/UJCEA.2312.301024.124.1101

УПРОВАДЖЕННЯ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВИКОНАННЯ БУДІВЕЛЬНО-МОНТАЖНИХ РОБІТ В ОСОБЛИВИХ УМОВАХ

ПАПІРНИК Р. Б.^{1*}, канд. техн. наук, доц.,

ДІКАРЕВ К. Б.², канд. техн. наук, доц.,

СЕЛЕЦЬКИЙ В. В.³, асп.,

КОВАЛЬ В. В.⁴, маг.

^{1*} Кафедра технології будівельного виробництва, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-33-51, e-mail: ruslan.b.papirnyk@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-7153-9378

² Кафедра технології будівельного виробництва, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-33-51, e-mail: dikarev.kostiantyn@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-9107-3667

³ Кафедра технології будівельного виробництва, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-33-51, e-mail: fcnfenix24@gmail.com, ORCID ID: 0009-0000-5657-444X

⁴ Кафедра публічного управління та адміністрування, Дніпровський державний аграрно-економічний університет, вул. Сергія Єфремова, 25, 49009, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 371-08-21, e-mail: valery.valeriyovich.koval.27@gmail.com, ORCID ID: 0009-0000-5875-1497

Анотація. Постановка проблеми. Україна, перебуваючи у воєнному стані з 24 лютого 2022 року, стикається зі складними викликами та загрозами, що впливають на різні сфери життя, включаючи будівельну галузь. Постійні обстріли та повітряні тривоги створюють небезпечні умови для працівників на будівництві та підвищують ризики для їхнього життя та здоров'я. Виконання будівельно-монтажних робіт в умовах війни вимагає розроблення спеціальних стратегій та технологій, які забезпечать максимальний рівень безпеки працівників та продовжать будівельні проекти у таких важких умовах. **Мета дослідження** – забезпечення безпеки працівників на будівництві під час виконання будівельно-монтажних робіт (БМР) в Україні. Створення умов для безпечної роботи на будівельних майданчиках навіть в умовах воєнного стану. **Методика.** Аналітичні дослідження рівня безпеки на будівельних майданчиках в умовах воєнного стану, аналіз та синтез наявних даних, порівняння рівня будівельно-монтажних робіт в Україні, системно-правове дослідження законодавства в сфері охорони праці. **Результати.** Небезпека повітряних тривог та ракетних загроз настільки серйозна, що змушує підприємства шукати ефективні способи захисту для своїх працівників. Важливою перспективою бачиться переобладнання наявних будівельних структур, таких як ліфтові шахти, підземні приміщення та інші частини будівель, на безпечні укриття. Це дозволить зберегти час та зусилля, які зазвичай витрачаються на евакуацію працівників, а також зменшить ризики для життя та здоров'я працівників. Створення безпечних умов праці на будівельних майданчиках вимагає комплексного підходу та впровадження інноваційних технологій. Мобільні укриття, переобладнання існуючих структур, а також упровадження планів надзвичайних ситуацій –

ключові кроки в цьому напрямку. **Наукова новизна.** Запропоновані рішення щодо забезпечення безпеки працівників на будівництві в умовах воєнного конфлікту. **Практична значимість.** Результати цього дослідження можуть бути використані для розроблення нових підходів та технологій, які забезпечать безпеку працівників та ефективність будівельних робіт у небезпечних умовах.

Ключові слова: будівельна галузь; безпека праці; законодавство; відповідальність роботодавців; ефективність будівельних робіт; укриття

IMPLEMENTATION OF INNOVATIVE TECHNOLOGIES FOR EXECUTION OF CONSTRUCTION AND ASSEMBLY WORK IN SPECIAL CONDITIONS

PAPIRNYK R.B.^{1*}, Ph. D. (Tech.), Assoc. Prof.,
DIKAREV K.B.², Ph. D. (Tech.), Assoc. Prof.,
SELETSKYI V.V.³, Postgrad. Stud.,
KOVAL V.V.⁴, Master

^{1*} Department of Construction Technologies, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Architect Oleh Petrov Str., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (056) 756-33-51, e-mail: ruslan.b.papirnyk@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-7153-9378

² Department of Construction Technologies, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Architect Oleh Petrov Str., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (056) 756-33-51, e-mail: dikarev.kostiantyn@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-9107-3667

³ Department of Construction Technologies, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Architect Oleh Petrov Str., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (056) 756-33-51, e-mail: fcnfenix24@gmail.com, ORCID ID: 0009-0000-5657-444X

⁴ Department of Public Administration, Dnipro State Agrarian and Economic University, 25, Serhiy Yefremov Str., Dnipro, 49009, Ukraine, tel. +38 (056) 371-08-21, e-mail: valery.valeriyovich.koval.27@gmail.com, ORCID ID: 0009-0000-5875-1497

Abstract. Problem statement. Being in a state of war since February 24, 2022, Ukraine is facing complex challenges and threats affecting various spheres of life, including the construction industry. Constant shelling and air strikes create dangerous conditions for construction workers and increase the risks to their lives and health. Carrying out construction and installation work in conditions of war requires the development of special strategies and technologies that will ensure the maximum level of safety of workers and continue construction projects in such difficult conditions. **Purpose of the study.** The purpose of the study is to ensure the safety of construction workers during construction and assembly works in Ukraine. **Methods.** Analytical studies of the level of security at construction sites under martial law conditions, analysis and synthesis of available data, comparison of the level of construction and installation works in Ukraine, systemic and legal research of legislation in the field of labor protection. **Research results.** The danger of aerial alarms and missile threats is so serious that it forces businesses to look for effective ways to protect their employees. An important prospect is the conversion of existing building structures such as elevator shafts, underground rooms and other parts of buildings into safe shelters. It will save the time and effort normally spent on evacuating workers, and will also reduce the risks to life and health of workers. Creating safe working conditions on construction sites requires a comprehensive approach and the implementation of innovative technologies. Mobile shelters, conversion of existing structures and implementation of contingency plans are key steps in this direction. **Scientific novelty.** Offered solutions for ensuring the safety of construction workers in the conditions of a military conflict have been developed and presented. **Practical significance.** The results of this research can be used to develop new approaches and technologies that will ensure the safety of workers and the efficiency of construction work in risk conditions.

Keywords: construction industry; occupational safety; legislation; employer responsibility; efficiency of construction works; shelters

Постановка проблеми. Актуальність цього дослідження полягає у тому, що безпека працівників на будівельних майданчиках постає невід'ємною частиною їхнього права на працю. У воєнний час це питання стає набагато більш актуальним

через загрозу життю та здоров'ю працівників. Розв'язання цієї проблеми має велике значення для забезпечення безпеки та здоров'я людей, які працюють на будівельних майданчиках.

Україна, перебуваючи у воєнному стані з 24 лютого 2022 року, стикається зі складними викликами та загрозами, що впливають на різні сфери життя, включаючи будівельну галузь. Постійні обстріли та повітряні тривоги створюють небезпечні умови для працівників на будівництві та підвищують ризики для їхнього життя і здоров'я.

Недостатня безпека робітників на будівельних майданчиках у воєнний період стала серйозною проблемою. Відсутність укриття та нестабільні умови відкритого простору на майданчиках змушують людей шукати укриття у разі обстрілу, що ставить під загрозу їхню безпеку та сповільнює хід будівельних робіт.

Це дослідження пропонує розробку практичних рішень щодо забезпечення безпеки працівників на будівництві в умовах війни. Результати дослідження можуть бути використані для розроблення нових підходів та технологій, які гарантуватимуть безпеку працівників та ефективність будівельних робіт у небезпечних умовах.

Мета дослідження – забезпечення безпеки працівників на будівництві під час виконання будівельно-монтажних робіт (БМР) в Україні. Створення умов для безпечної роботи на будівельних майданчиках навіть в умовах воєнного стану.

Результати досліджень. Будівельні роботи охоплюють широкий спектр діяльності, яка включає в себе нове будівництво, реконструкцію, реставрацію та капітальний ремонт. Будівельно-монтажні роботи, у свою чергу, включають усі види робіт, що проводяться під час зведення споруди на місці будівництва. Це може включати монтаж залізобетонних конструкцій, силової електропроводки, ліфтів тощо [1].

Будівельні роботи можуть бути розпочаті замовником після отримання дозволу на будівництво або договору, а також після подання повідомлення про початок робіт до Державної архітектурно-будівельної інспекції або її територіального органу.

В умовах війни виконання будівельно-монтажних робіт стає складним завданням через небезпеку та ризики для працівників на майданчиках. Постійні обстріли, воєнні загрози та відсутність належних укриттів створюють небезпечні умови для будівельників. Продовження робіт у таких обставинах вимагає ретельного планування та застосування інноваційних підходів для забезпечення безпеки праці та ефективності виробничих процесів. Виконання будівельно-монтажних робіт в умовах війни вимагає розроблення спеціальних стратегій та технологій, які забезпечать максимальний рівень безпеки працівників та продовжать будівельні проекти у таких важких умовах.

У період з 2022 по 2024 рік українська будівельна індустрія зазнала суттєвих втрат і змін через війну. Згідно з даними Міністерства інфраструктури України, через війну зменшилися обсяги будівельно-монтажних робіт на 45 % порівняно з попереднім періодом. У 2022 році обсяг будівельних робіт в Україні склав 120 млрд грн, а в 2024 році ця цифра знизилася до 66 млрд грн. Це відображає серйозний вплив війни на будівельну галузь країни [4].

Війна також спричинила зменшення кількості будівельних об'єктів та виконаних робіт. За період з 2022 по 2024 рік кількість нових будівельних проєктів скоротилася на 35 %, а обсяги виконаних робіт на існуючих об'єктах знизилися на 50 %. Це викликало значні втрати робочих місць у будівельній сфері: кількість працівників у галузі зменшилася на 40 % порівняно з 2021 роком.

Однією з основних проблем стало забезпечення безпеки працівників на будівельних майданчиках, особливо в умовах воєнних дій. Внаслідок обстрілів та повітряних атак багато будівельних об'єктів отримали пошкодження, а працівники стали жертвами. Загальна кількість постраждалих серед будівельників збільшилася на 60 % за останній період [5].

Незважаючи на важкі обставини, вжито певних заходів для підвищення безпеки та ефективності будівельних робіт. Наприклад, впроваджено нові технології моніторингу безпеки на майданчиках, що дозволило

зменшити кількість нещасних випадків на 30 %. Також розроблено та впроваджено програми евакуації та укриття для працівників, що сприяло зменшенню числа жертв ворожих атак. Крім того, відмічається зростання інтересу до модернізації та ремонту існуючих об'єктів замість будівництва нових. Це дозволило зберегти ресурси та ефективно використати наявну інфраструктуру в умовах війни.

Після початку повномасштабної війни обсяги будівельно-монтажних робіт в Україні значно скоротилися. Багато забудовників відступили з ринку, а ті, хто залишився, переважно зосередились на добудові проєктів, розпочатих ще до вторгнення росії. Проте від другого кварталу 2023 року галузь житлового будівництва в Україні почала дещо активізуватися. Будівельні компанії, які продовжили працювати навіть під час війни та ризику обстрілів, наразі нарощують темпи та готуються розпочати нові проєкти.

Ціни на первинну нерухомість також поступово відновлюються до довоєнних рівнів, а до кінця року можуть зрости, головним чином через інфляцію та підвищення вартості будівельних матеріалів.

Проте попит на нове житло від українців залишається низьким: у середньому він втричі менший, ніж пропозиція. Збідніле населення поки не готове придбати квартири в нових житлових комплексах. Ті, хто все ж обирає нове житло, віддають перевагу нерухомості з високим рівнем готовності у відносно безпечних районах [6].

Засновник будівельної компанії DegasGroup, Юрій Дегас, вважає, що від початку повномасштабної війни спостерігалось зменшення цін навіть нижче собівартості. Це спричинило певну істеріку в будівельній галузі. Проте зараз ціни стабілізуються, а компанії готуються до можливого підвищення восени. Компанії продовжують проводити маркетингові кампанії, конкуруючи в тому, хто запропонує кращі умови. За словами Дегаса, забудовники вже пристосувалися до умов війни і сприймають її як нову реальність, з

якою доводиться працювати. Багато компаній у південному регіоні України або вже розпочали реалізацію нових проєктів, або готуються до цього. Компанії, які продовжували працювати минулого року, наразі нарощують свої обороти.

Наприклад, компанія Артпроєктбуд зараз завершує зведення декількох житлових комплексів, які були розпочаті до війни, і готується почати будівництво ще двох об'єктів [7].

Роль будівельно-монтажних робіт в особливих умовах війни в Україні не може бути недооцінена. Незважаючи на виклики та обмеження, які виникли через агресію рф, ця галузь продовжувала відігравати важливу роль у житті країни.

По-перше, будівельно-монтажні роботи в цей період допомагали відновлювати пошкоджені споруди, житлові будинки та інфраструктуру внаслідок обстрілів і воєнних дій. Будівельні компанії активно займалися відновленням пошкоджених об'єктів та інфраструктури, сприяючи відновленню звичного життя людей.

По-друге, будівництво нових об'єктів та житлових комплексів в особливих умовах війни також відіграє важливу роль у забезпеченні населення житлом та збереженні робочих місць. Навіть за таких складних умов компанії продовжують будувати нові житлові комплекси та комерційні будівлі.

Одним із пріоритетних напрямів для будівельних компаній під час виконання БМР стало впровадження заходів безпеки, щоб мінімізувати ризики для працівників. Огляд рівня будівельно-монтажних робіт в Україні в умовах війни наведено в таблиці 1.

З таблиці видно, що обсяг будівельних дозволів та зведена площа нового житла значно зменшилися у 2023 році порівняно з 2022 роком, що може бути пов'язано зі складнощами та ризиками війни. Однак у 2024 році спостерігається певне покращення, хоча обсяги ще не досягли рівня 2022 року. Кількість будівельних компаній та працівників також зменшилася протягом цього періоду.

Таблиця 1

Огляд рівня будівельно-монтажних робіт в Україні в умовах війни [9]

Показник	2022 рік	2023 рік
Обсяг будівельних дозволів	35 000	22 500
Зведена площа нового житла (м²)	2 500 000	1 800 000
Кількість будівельних компаній	3 500	2 500
Кількість працівників у галузі	150 000	110,000

Ціни на новобудови та вторинний ринок нерухомості в Україні знизилися у 2023 році, але у 2024 році почали зростати, що відображено в таблиці 2. Це може бути

пов'язано зі змінами на ринку через війну, а також зі зростанням інфляції та вартості будівельних матеріалів.

Таблиця 2

Динаміка цін на житлову нерухомість в Україні [10]

Тип нерухомості	Середня ціна за 1 м², 2022 рік	Середня ціна за 1 м², 2023 рік	Середня ціна за 1 м², 2024 рік
Новобудови	26 000 грн	28 000 грн	31 000 грн
Вторинний ринок	24 000 грн	30 000 грн	29 500 грн

Повномасштабне вторгнення РФ в Україну у 2022 році суттєво вплинуло на будівельно-монтажну галузь країни. В умовах війни змінився не лише обсяг та характер будівельних проєктів, а й вартість нерухомості та безпека працівників на будівництві [8]. Для розуміння цих змін та їх впливу проведено аналіз даних щодо рівня будівельно-монтажних робіт, цін на житлову нерухомість та ролі будівельних робіт у забезпеченні безпеки та інфраструктурного розвитку.

Створення безпечних укриттів для працівників на будівництві стає пріоритетним завданням в умовах війни. Це включає в себе розроблення та будівництво захисних споруд, які забезпечують працівникам можливість швидко та ефективно захиститися від обстрілів чи повітряних атак.

Війна спричинює значні пошкодження інфраструктури, включаючи будівлі, дороги,

мости та інші об'єкти. Ремонт та відновлення цих об'єктів постає важливим завданням для будівельної галузі. Створення безпечних умов праці для ефективного відновлення пошкоджених об'єктів важливе для забезпечення стабільності будівельної галузі під час війни.

Під час дії воєнного стану в Україні ліцензування в будівництві не обов'язкове, за винятком випадків, прямо передбачених законодавством, таких як будівництво сховища для радіоактивних відходів або ядерної установки. Це пов'язано з упровадженням Кабінетом Міністрів України можливості подання декларації як тимчасової альтернативи ліцензії для отримання права на провадження ліцензованих видів господарської діяльності у воєнний час.

Таблиця 3

Роль будівельно-монтажних робіт у забезпеченні безпеки та інфраструктурного розвитку в Україні [11]

Аспект	Роль у забезпеченні безпеки	Роль у розвитку інфраструктури
Укриття працівників	Будівництво безпечних укриттів для працівників на будівельних майданчиках	Реконструкція та модернізація існуючої інфраструктури
Відновлення пошкоджених об'єктів	Відновлення пошкоджених будівель та інфраструктури після обстрілів	Побудова нових об'єктів та житлових комплексів
Забезпечення безпеки інфраструктури	Впровадження заходів безпеки для мінімізації ризиків під час воєнних дій	Захист та зміцнення інфраструктури для запобігання пошкодженню від воєнних дій

Терміни дії чинних строкових ліцензій та дозвільних документів автоматично продовжуються на період воєнного стану плюс три місяці з дня його припинення чи скасування, а періодичні платежі за ними відкладаються на цей же термін. Суб'єкти господарювання, які отримали право на господарську діяльність за допомогою декларації, мають звернутися до відповідних органів ліцензування протягом трьох місяців з моменту припинення чи скасування воєнного стану, щоб отримати дозвільні документи у встановленому порядку та термінах, не припиняючи (перериваючи) свою діяльність.

Під час війни важливою стає організація будівельно-монтажних робіт в її умовах. Такі роботи можуть включати відновлення зруйнованих об'єктів, будівництво нових споруд, створення укриттів для цивільного населення та військових, а також ремонт та посилення існуючих споруд для забезпечення безпеки.

Війна ставить перед будівельними компаніями численні виклики, зокрема, гарантування безпеки працівників та ефективне виконання завдань в умовах загрози обстрілів і вибухів. Для цього можуть застосовуватися різні заходи безпеки, такі як побудова захищених укриттів, розміщення на робочих місцях протиракетних систем, тимчасові конструкції для зменшення ризику поранень під час обстрілів тощо [14].

Окрім того, умови війни можуть впливати на доступність матеріалів та обладнання для будівництва. Зокрема, стало складніше здійснити поставки будівельних матеріалів через переривання транспортних шляхів або заборони на експорт певних товарів. Важливо також враховувати соціальний аспект при виконанні будівельно-монтажних робіт в умовах війни.

У зв'язку з постійними обстрілами та повітряними тривогами працівники змушені шукати укриття, якого часто бракує на об'єктах будівництва, що ставить їх під загрозу.

Згідно зі статтею 13 Закону України «Про охорону праці» роботодавець має

створити на робочому місці відповідні умови праці та забезпечити дотримання вимог законодавства щодо прав працівників у галузі охорони праці. Для досягнення цих цілей роботодавець повинен розробляти комплексні заходи з охорони праці, впроваджувати прогресивні технології та застосовувати засоби механізації та автоматизації виробництва. Згідно з чинним законодавством, відповідальність за безпеку працівника на виробництві несе роботодавець [15].

Відповідно до законодавства, роботодавець несе основну відповідальність за забезпечення безпеки та охорони здоров'я працівників на робочому місці.

Це означає, що він має здійснювати всі необхідні заходи для запобігання травмам та професійним захворюванням працівників. Ця відповідальність включає в себе:

1. *Створення безпечних умов праці.* Роботодавець повинен створити на робочому місці безпечні умови праці, що включає належне обладнання та інструменти, а також відповідні умови освітлення, вентиляції та санітарії.

2. *Проведення інструктажу та навчання.* Роботодавець повинен забезпечити належний інструктаж та навчання працівників з питань безпеки та охорони здоров'я на робочому місці, включаючи правильне використання обладнання та дотримання правил безпеки.

3. *Забезпечення відповідних засобів індивідуального захисту (ЗІЗ).* Роботодавець повинен надавати працівникам необхідні ЗІЗ відповідно до характеру виконуваних робіт, такі як захисні шоломи, окуляри, відбійні жилети тощо.

4. *Контроль за дотриманням правил безпеки.* Роботодавець зобов'язаний встановлювати та контролювати виконання правил безпеки на робочому місці, вживати заходів для запобігання випадкам порушень та реагувати на них вчасно.

5. *Проведення аналізу ризиків із безпеки праці.* Роботодавець повинен аналізувати ризики та небезпеки на робочому місці і вживати відповідних заходів для їх усунення або мінімізації.

6. *Інформування про небезпеки та інциденти.* Роботодавець зобов'язаний інформувати працівників про можливі небезпеки на робочому місці та процедури дії у випадку аварій чи інцидентів.

7. *Медичний контроль.* Роботодавець має забезпечити медичний контроль за здоров'ям працівників та надавати їм допомогу в разі потреби [6].

У цілому, роботодавець має нести відповідальність за всі аспекти безпеки та охорони здоров'я працівників на виробництві і створювати відповідні умови для безпечної праці. Під час війни або в умовах загрози воєнної агресії стає критично важливим гарантування безпеки працівників на будівельних майданчиках. Однак відсутність програм зведення укриттів та відповідних нормативно-правових актів ускладнює це завдання. Необхідно знайти баланс між безпекою людей та економічною ефективністю, враховуючи обмежені ресурси.

Шляхи забезпечення безпеки працівників:

1. Необхідно розробити програму будівництва укриттів як складову частину загальної стратегії цивільного захисту. Ця програма має включати в себе плани будівництва тимчасових та постійних укриттів на будівельних майданчиках, а також механізми фінансування.

2. Для ефективного функціонування програм будівництва укриттів необхідно розробити відповідні нормативно-правові акти, які б регулювали дії в умовах війни та визначали відповідальність держави, роботодавця та працівника.

3. Застосування сучасних інженерно-технічних рішень може допомогти створити більш ефективні та економічно вигідні укриття. Наприклад, використання легких конструкцій, модульних систем, технологій 3D-друку або мобільних укриттів.

4. Роботодавці повинні надавати працівникам необхідні навички та знання щодо дій у випадку обстрілу чи повітряної тривоги. Проведення тренінгів та інструктажів допоможе забезпечити швидку

та правильну реакцію працівників на небезпеку.

5. Для забезпечення доступності укриттів у разі надзвичайної ситуації слід розглянути можливість створення мережі укриттів у відповідних районах.

6. Роботодавці можуть співпрацювати з ДСНС для отримання консультацій та рекомендацій з питань безпеки працівників на будівельних майданчиках в умовах війни або загрози [7].

Повітряні тривоги та ракетні загрози стають серйозними перешкодами для нормального функціонування будівельних компаній. Ці небезпечні ситуації змушують зупиняти робочі процеси, відривати працівників від виробництва та шукати укриття. Повітряні тривоги та загрози ракетних атак не лише змушують зупиняти роботи, а й створюють небезпечні ситуації для людей. Потенційна небезпека для життя та здоров'я змушує їх шукати захисту.

Під час повітряної тривоги або ракетної загрози будівельні компанії змушені припиняти будівельні процеси та організовувати евакуацію працівників. Це значно знижує продуктивність робіт, втрачається час на відновлення нормального робочого процесу.

Будівельні компанії повинні підготувати плани надзвичайних ситуацій та визначити процедури поведінки для працівників у небезпечних ситуаціях. Це може включати розміщення в укриттях на території будівельного майданчика або евакуацію до безпечних зон. Один із варіантів забезпечення безпеки працівників – побудова або організація доступних та добре обладнаних укриттів. Це можуть бути підземні або надземні споруди, що захищають від фрагментів і вибухів. Такі укриття повинні бути розташовані на відстані, яка дозволить працівникам швидко і безпечно дістатися до них.

Створення безпечних сховищ або укриттів безпосередньо на будівельних майданчиках стало першочерговим завданням на сьогодні. Ліфтові шахти можна використати як укриття, оскільки вони зазвичай розташовані в центральній

частині будівлі і мають відносно міцну конструкцію. Це дозволяє робітникам швидко знайти безпечне притулок прямо на будівельному майданчику.

Багато будівель мають підземні приміщення або підвали, які можна використати як укриття. Їх можна підготувати та обладнати. Крім того, необхідно створити мобільні укриття або бетонні конструкції, які можна швидко встановити на будівельному майданчику [11].

Ці заходи дозволять робітникам швидко та ефективно дістатися до безпечних укриттів та зменшать ризики для їхнього життя та здоров'я. Крім того, вони зменшать втрат часу та коштів, пов'язаних з евакуацією працівників із будівельних майданчиків під час небезпечних ситуацій.

Висновки.

У сучасних умовах будівництва в Україні створення безпечних умов для працівників на будівельних майданчиках стає надзвичайно важливим та актуальним завданням. Небезпека повітряних тривог та ракетних загроз настільки серйозна, що

змушує підприємства шукати ефективні способи захисту.

Важливі перспективи бачаться у переобладнанні наявних будівельних структур, таких як ліфтові шахти, підземні приміщення та інші частини будівель, на безпечні укриття. Це дозволить зберегти час та зусилля, які зазвичай витрачаються на евакуацію працівників, а також зменшить ризики для їхнього життя та здоров'я.

Створення безпечних умов праці на будівельних майданчиках вимагає комплексного підходу та впровадження інноваційних технологій. Мобільні укриття, переобладнання існуючих структур, а також впровадження планів надзвичайних ситуацій – ключові кроки в цьому напрямку.

Загалом, зусилля будівельних компаній у створенні безпечних умов праці відіграють важливу роль у забезпеченні безпеки та здоров'я працівників в умовах ворожого нападу. Реалізація цих заходів не лише сприятиме зменшенню ризиків для працівників, а й підвищить ефективність будівельних процесів та забезпечить стабільність у галузі будівництва в особливих умовах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Про охорону праці : Закон України від 14 жовтня 1992 року № 2694-XII. *Відомості Верховної Ради України*. 1992. № 49. Ст. 668. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text> (дата звернення : 05.04.2024).
2. Коломієць А. М., Пахолок М. С., Ісаков О. В. та ін. Проектування і влаштування тимчасових укриттів на будівельних майданчиках : методичні вказівки. *Будівництво, матеріали та вироб.* 2005. № 4. С. 32–35.
3. Студинський В. Л. Організація укриттів на будівельних майданчиках в умовах гібридної війни : науково-методичні рекомендації. Київ : Центр навчальної літератури, 2018. 87 с.
4. Шевченко О. І. Організація заходів безпеки праці на будівельних майданчиках : навч. посіб. Київ : КНТ, 2005. 184 с.
5. Криворучко Ю. В., Гончаров В. С. Забезпечення безпеки праці на будівельних об'єктах : підруч. Київ : Вища освіта, 2008. 256 с.
6. Система управління охороною праці на підприємствах будівельної галузі : монографія. За ред. Л. М. Валькової. Київ : Фенікс, 2015. 240 с.
7. Інструкція з охорони праці під час ведення будівельних робіт на об'єктах, що перебувають в зоні можливого обстрілу артилерією та ведення військових дій. Київ : Міністерство охорони здоров'я України, 2016. 62 с.
8. Методичні рекомендації з питань організації безпеки праці під час ведення будівельних робіт в умовах загрози терористичного акту. Київ : Міністерство інфраструктури України, 2019. 48 с.
9. Дмитренко В. І. Загрози розвитку підприємств будівельної галузі: теоретичний аспект. *Агросвіт*. 2020. № 11. С. 136–140.
10. Кучерява К. Я., Коваленко Т. В. Соціальна відповідальність бізнесу у сфері праці в умовах війни. *Scientific innovations in law amidst the impact of the russian-ukrainian war on the legal system : International scientific conference* (September 22–23, 2023, Riga, Latvia). С. 122–126. URL: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-352-1-28> (дата звернення : 10.04.2024).

11. Бомбосховища Ізраїлю : чи реально так зробити в Україні. *Defense Express*. 2023. URL: https://defence-ua.com/minds_and_ideas/bomboshovischa_izrajilju_chi_realno_tak_zrobiti_v_ukrajini-11761.html (дата звернення : 10.04.2024).

REFERENCES

1. *Pro okhoronu pratsi : Zakon Ukrainyvid 14 zhovtnia 1992 roku № 2694-XII* [On labor protection : Law of Ukraine dated October 14, 1992 no. 2694-XII]. *Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy* [Information of the Verkhovna Rada of Ukraine]. 1992, no. 49, art. 668. (in Ukrainian). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text> (date of application : 09.04.2024). (in Ukrainian).
2. Kolomiets A.M., Pakholok M.S., Isakov O.V. and oth. *Proektuvannia i vlashtuvannia tymchasovykh ukryttiv na budivelnykh maidanchykakh : metodychni vказivky* [Design and installation of temporary shelters on construction sites : methodological guidelines]. *Budivnytstvo, materialy ta vyroby* [Construction, Materials and Products]. 2005, vol. 4, pp. 32–35. (in Ukrainian).
3. Studynskyi V.L. *Orhanizatsiia ukryttiv na budivelnykh maidanchykakh v umovakh hibrydnoi viiny : naukovo-metodychni rekomendatsii* [Organization of shelters on construction sites in conditions of hybrid warfare : scientific and methodological recommendations]. Kyiv : Centerfor Educational Literature, 2018, 87 p. (in Ukrainian).
4. Shevchenko O.I. *Orhanizatsiia zakhodiv bezpeky pratsi na budivelnykh maidanchykakh : navch. posib.* [Organization of labor safety measures at construction sites : training. manual]. Kyiv : KNT Publ., 2005, 184 p. (in Ukrainian).
5. Kryvoruchko Yu.V. and Honcharov V.S. *Zabezpechennia bezpeky pratsi na budivelnykh ob'ekтах : pidruchnyk* [Ensuring labor safe tyat constructionsites : a textbook]. Kyiv : Highereducation Publ., 2008, 256 p. (in Ukrainian).
6. *Systema upravlinnia okhoronoiu pratsi na pidpriemstvakh budivelnoi haluzi : monohrafiia* [Occupational health and safety management system at enterprises in the construction industry : monograph]. Edited by L.M. Valkova. Kyiv : Phoenix Publ., 2015, 240 p. (in Ukrainian).
7. *Instruktsiia z okhorony pratsi pidchas vedennia budivelnykh robit na ob'ekтах, shcho perebuvaiut v zoni mozhlyvoho obstrilu artileriiu ta vedennia viiskovykh dii* [Instruction son labor protection during construction work on objects located in the zone of possible artillery fire and military operations]. Kyiv : Ministry of Health of Ukraine, 2016, 62 p. (in Ukrainian).
8. *Metodychni rekomendatsii z pytan orhanizatsii bezpeky pratsi pid chas vedennia budivelnykh robit v umovakh zahrozy terorystychnoho aktu* [Methodological recommendations on the organization of labor safety during construction work under the threat of a terroristact]. Kyiv : Ministry of Infrastructure of Ukraine, 2019, 48 p. (in Ukrainian).
9. Dmytrenko V.I. *Zahrozy rozvytku pidpriemstv budivelnoi haluzi : teoretychnyi aspekt* [Threats to the development of enterprises in the construction industry : theoretical aspect]. *Ahrosvit* [Agroworld]. 2020, no. 11, pp. 136–140. (in Ukrainian).
10. Kucheriava K.Ya. and Kovalenko T.V. *Sotsialna vidpovidalnist biznesu u sferi pratsi v umovakh viiny* [Social responsibility of business in the sphere of labor in the conditions of war]. Scientific innovations in law amidst the impact of the russian-ukrainianwar on the legal system : International scientific conference. September 22–23, 2023, Riga, Latvia, pp. 122–126. (in Ukrainian). URL: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-352-1-28> (date of application : 10.04.2024).
11. *Bomboskhovyshcha Izrailiu : chy realno takzrobyty v Ukraini* [Israel's bomb shelters : is it realistic to do so in Ukraine]. *Defense Express*. 2023. URL: https://defence-ua.com/minds_and_ideas/bomboshovischa_izrajilju_chi_realno_tak_zrobiti_v_ukrajini-11761.html (date of application : 10.04.2024). (in Ukrainian).

Надійшла до редакції: 15.09.2024.

УДК 378.147

DOI: 10.30838/UJCEA.2312.301024.133.1102

АДАПТАЦІЯ УЧАСНИКІВ ОСВІТНЬОГО ПРОЦЕСУ ДО ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ В ПЕРІОД ВОЄННОГО СТАНУ

СМИРНОВА О. В.^{1*}, канд. техн. наук, доц.,
ГАРМАШ С. М.², канд. с.-г. наук, доц.,
ГЕРАСИМЕНКО В. О.³, канд. хім. наук, доц.

^{1*} Кафедра біотехнології та безпеки життєдіяльності, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет», вул. Набережна Перемоги, 40, 49094, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 47-12-25, e-mail: email.smirnova@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-9819-7769

² Кафедра біотехнології та безпеки життєдіяльності, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет», вул. Набережна Перемоги, 40, 49094, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 47-12-25, e-mail: svgarmash@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-2658-162X

³ Кафедра біотехнології та безпеки життєдіяльності, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет», вул. Набережна Перемоги, 40, 49094, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 47-12-25, e-mail: gerasim_vlad@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-3369-4267

Анотація. Постановка проблеми. Вимушена зміна форми навчання у вищій школі, яка була спочатку зумовлена пандемією COVID-19, а потім і введенням воєнного стану, вимагає від усіх учасників освітнього процесу ефективного реагування на появу все нових викликів. Процес адаптації до вимушеної трансформації форми навчання складний, як з погляду технічних можливостей забезпечення якості освіти, так і з точки зору психоемоційного стану студентів та викладачів. Створити комфортне освітнє середовище неможливо без моніторингу потреб студентів. Ці потреби динамічні у зв'язку з постійними змінами форм навчання. Адаптація студентів до нових форм навчання (без втрат у якості) буде залежати від розуміння їх ставлення до нововведень в організації навчання та врахування їхньої думки у плануванні подальших змін. **Мета та завдання.** Визначення ставлення студентів до організації навчання у вищому навчальному закладі в умовах воєнного стану з урахуванням психологічних аспектів. **Висновки.** Результати проведеного онлайн-опитування серед здобувачів вищої освіти свідчать про поступову адаптацію всіх учасників навчального процесу до різних форм навчання. В цілому студенти задоволені проведенням онлайн-занять за розкладом (синхронний режим за допомогою платформи Zoom). З психологічної точки зору існують проблеми з концентрацією уваги під час навчання, пов'язані із загрозами здоров'ю та життю. Результати опитування свідчать, що потрібно звернути більше уваги на психологічну підтримку. Це можна зробити, запропонувавши студентам для вивчення окрему вибірку дисципліну, яка спрямована на отримання навичок щодо забезпечення особистого захисту під час збройної та/або інформаційної агресії, або додати до переліку обов'язкових тем для кураторських годин. Загалом студенти позитивно оцінюють зміни у дистанційній формі навчання, які відбулися після її впровадження з початку пандемії коронавірусу. Більшість студентів задоволена організацією та проведенням навчання у дистанційному форматі. Після скасування воєнного стану в країні більшість магістрів обрала би дистанційну форму навчання, більшість бакалаврів – змішану.

Ключові слова: воєнний стан; дистанційне навчання; онлайн-опитування; психологічні аспекти; самостійна робота; синхронний режим

ADAPTATION OF EDUCATIONAL PROCESS PARTICIPANTS TO DISTANCE EDUCATION DURING THE PERIOD OF MARTIAL STATUS

SMIRNOVA O.V.^{1*}, Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.,
GARMASH S.M.², Cand. Sc. (Agr.), Assoc. Prof.,
GERASIMENKO V.O.³, Cand. Sc. (Chem.), Assoc. Prof.

^{1*} Department of Biotechnology and Safety, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Ukrainian State University of Chemical Technology", 40, Naberezhna Peremohy Str., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-12-25, e-mail: email.smirnova@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-9819-7769

² Department of Biotechnology and Safety, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI “Ukrainian State University of Chemical Technology”, 40, Naberezhna Peremohy Str., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-12-25, e-mail: svgarmash@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-2658-162X

³ Department of Biotechnology and Safety, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI “Ukrainian State University of Chemical Technology”, 40, Naberezhna Peremohy Str., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-12-25, e-mail: gerasim_vlad@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-3369-4267

Abstract. Problem statement. The forced change in the form of education in higher education, which was first caused by the COVID-19 pandemic, and then by the introduction of martial law, requires all participants in the educational process to respond effectively to the emergence of new challenges. The process of adaptation to the forced transformation of the form of education is complex, both from the point of view of the technical possibilities of ensuring the quality of education, and from the point of view of the psycho-emotional state of students and teachers. It is impossible to create a comfortable educational environment without monitoring the needs of students. These needs are dynamic due to constant changes in the forms of education. Adaptation of students to new forms of education (without loss of quality) will depend on understanding their attitude to innovations in the organization of education and taking into account their opinion when planning further changes. **Purpose of the article.** Determining the attitude of students to the organization of education in a higher educational institution in the conditions of martial law, taking into account psychological aspects. **Conclusion.** The results of an online survey among students of higher education indicate the gradual adaptation of all participants in the educational process to various forms of education. In general, students are satisfied with conducting online classes according to the schedule (synchronous mode using the Zoom platform). From a psychological point of view, there are problems with concentration of attention when studying, associated with threats to health and life. The results of the survey indicate that more attention should be paid to psychological support. This can be done by offering students to study a separate elective discipline, which is aimed at obtaining skills to ensure personal protection during armed and/or informational aggression, or add to the list of mandatory topics for curatorial hours. In general, students positively evaluate the changes in the distance learning method that took place after its introduction since the beginning of the coronavirus pandemic. The majority of students are satisfied with the organization and conduct of education in a distance format. After the abolition of martial law in the country, the majority of master's students would choose distance learning, most bachelor's – mixed.

Keywords: *martial law; distance learning; online survey; psychological aspects; independent work; synchronous mode*

Постановка проблеми. Вимушена зміна форми навчання у вищій школі, яка була спочатку зумовлена пандемією COVID-19, а потім і введенням воєнного стану, вимагає від усіх учасників освітнього процесу ефективного реагування на появу все нових викликів. Процес адаптації до вимушеної трансформації форми навчання складний, як із погляду технічних можливостей забезпечення якості освіти, так і з точки зору психоемоційного стану студентів та викладачів. Створити комфортне освітнє середовище неможливо без моніторингу потреб студентів. Ці потреби динамічні у зв'язку з постійними змінами форм навчання. Адаптація студентів до нових форм навчання (без втрат у якості) буде залежити від розуміння їх ставлення до нововведень в організації навчання та врахування їхньої думки у плануванні подальших змін.

На рівні Держави моніторингом організації освітнього процесу займається Державна служба якості освіти України.

Протягом 2022–2023 років службою було організовано та проведено 11 моніторингових досліджень у сферах фахової передвищої та вищої освіти шляхом здійснення онлайн-опитувань та кабінетних досліджень із залученням понад 60 тисяч респондентів із понад 250 закладів освіти. Опитування проводяться щоквартально, а звіти результатів досліджень є у відкритому доступі [1]. Слід звернути увагу, що ці звіти містять інформацію щодо різних форм навчання, які реалізуються закладами освіти України, і корисні для аналізу.

Мета та завдання. Визначення ставлення студентів до організації навчання у вищому навчальному закладі в умовах воєнного стану з урахуванням психологічних аспектів.

Результати досліджень. Анонімне онлайн-опитування проводили серед здобувачів вищої освіти ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» протягом 2023 року, які навчалися за освітнім рівнем

бакалавр (140 респондентів) та магістр (41 респондент).

Анкета для опитування містила групи питань, які стосувалися:

- організації навчання;
- комунікації викладачів зі студентами;
- психологічних аспектів навчання;
- переваг та недоліків дистанційного навчання;
- бачення студентів щодо форми їх подальшого навчання.

Переважає більшість респондентів на час опитування перебувала у м. Дніпро (60 %), 35 % – в інших областях України, і 5 % – мешкали за межами України.

Онлайн-заняття студентів. В університеті основна платформа для синхронного навчання – це платформа Zoom. Проведення онлайн-занять більшість викладачів здійснювали саме за допомогою платформи Zoom, тільки 2,9 % – за допомогою Google meet (для бакалаврів), інших (Moodle та Viber) – по 1 % (рис. 1).

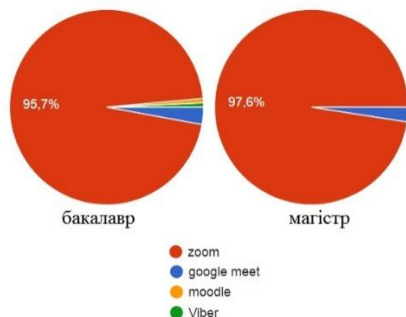


Рис. 1. Платформа для проведення онлайн-занять

Використання однієї платформи для проведення занять позитивно впливає на самоорганізацію студентів: не потрібно застосовувати різне програмне забезпечення протягом навчального дня та переорієнтовуватися, застосовуючи різні панелі керування.

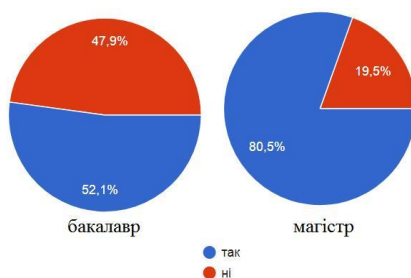


Рис. 2. Задоволеність проведенням онлайн-занять

Щодо ставлення студентів до проведення онлайн-занять, переважна більшість студентів повністю або частково задоволена, і тільки 4,3 % висловили свою незадоволеність (рис. 2).

Одна з проблем у проведенні онлайн-занять – це відсутність стабільного Інтернет-зв'язку або електропостачання, тому в анкеті було передбачено питання, яке дозволяє оцінити відсоток тих студентів, які не мали можливості в повному обсязі відвідувати заняття (рис. 3).

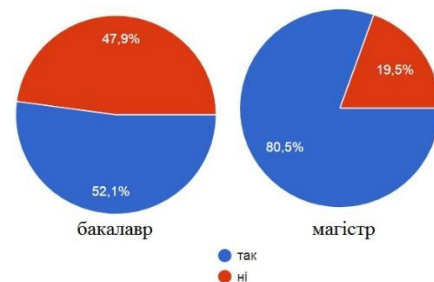


Рис. 3. Наявність стабільного Інтернет-зв'язку

Багато студентів не мали стабільного Інтернет-зв'язку, а саме, 47,9 % бакалаврів та 19,5 % магістрів. Отож їм довелося опановувати пропущений навчальний матеріал самостійно, і це потрібно враховувати для організації самостійної роботи студентів.

Самостійна робота студентів. Важливі складові під час виконання самостійної роботи такі: доступність інформації з дисциплін, зручність платформ для подання виконаних робіт та ефективна комунікація між студентами та викладачами. В умовах воєнного стану до цих складових ще потрібно додати наявність у студентів організованого робочого місця, а саме, комп'ютера чи ноутбука, відповідного освітлення, стабільного Інтернет-зв'язку тощо.

Для подання виконаних завдань на перевірку більшість студентів використовувала приблизно в однаковому відсотковому відношенні Moodle, Google classroom, електронну пошту та Viber, меншість – Telegram (42,1 % – бакалаври, 43,9 % – магістри) (рис. 4).

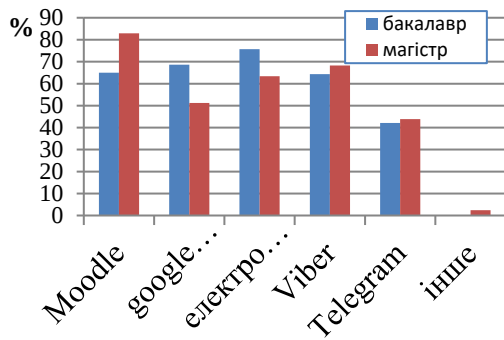


Рис. 4. Організація самостійної роботи

Виконання самостійної роботи може бути пов'язане з необхідністю робити розрахунки або креслення за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення, і неможливість його використовувати може вплинути на задоволеність студентів організацією самостійної роботи. Тому анкета включала питання «Чи була у Вас можливість використовувати все необхідне для виконання самостійної роботи програмне забезпечення (наприклад, Mathcad, AutoCAD та ін.)?», результати опитування наведено на рисунку 5.

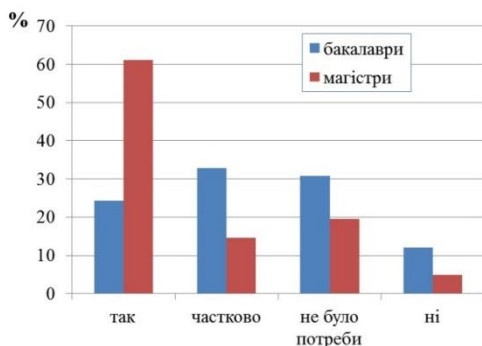


Рис. 5. Про можливість використовувати все необхідне для виконання самостійної роботи програмне забезпечення

Переважає більшість студентів використовувала необхідні для виконання самостійної роботи програми, і тільки 17 % студентів не мали такої можливості.

У цілому, більшість студентів задоволені умовами виконання самостійної роботи, що переважно визначалося наявністю дистанційних курсів з дисциплін (рис. 6).

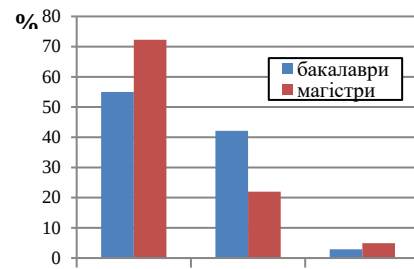


Рис. 6. Відповіді на питання «Чи задоволені Ви організацією самостійної роботи (наявність дистанційних курсів дисциплін)?»

Якщо у процесі виконання самостійних завдань у студентів виникали питання, викладачі проводили консультації, що могло позитивно вплинути на загальне враження студентів щодо готовності викладачів надати їм допомогу (рис. 7).

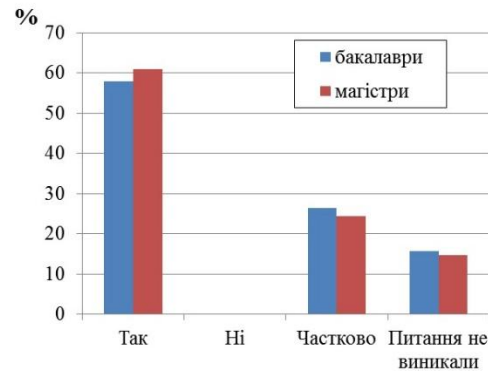


Рис. 7. Відповіді щодо задоволеності допомогою викладачів стосовно питань, які виникали під час виконання самостійних завдань

Психологічні аспекти навчання.

Комунікація між студентами та викладачами надзвичайно важлива для мотивації у навчанні, особливо враховуючи емоційний стан усіх учасників освітнього процесу під час дії воєнного стану. За дистанційного навчання, коли студенти не мають можливості особисто поставити питання викладачу, необхідно визначитися із найбільш ефективними засобами комунікації. За результатами опитування студентів (рис. 8), найбільш поширеними з них були: Viber, електронна пошта та Telegram, найменше – Zoom (бакалаври – 1,4 %, магістри – 2,4 %).

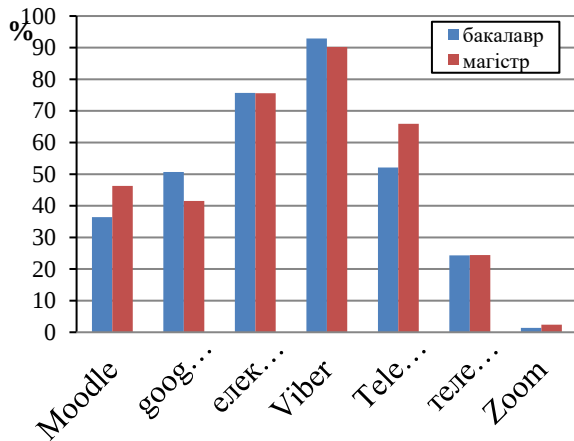


Рис. 8. Засоби комунікації студентів з викладачами

Питання передбачало декілька відповідей, тому можна визначити найбільш поширені засоби комунікації, але, як правило, це було поєднання декількох, залежно від обставин. Така гнучкість з боку викладачів у способах комунікації позитивно вплинула на думку студентів (рис. 9).

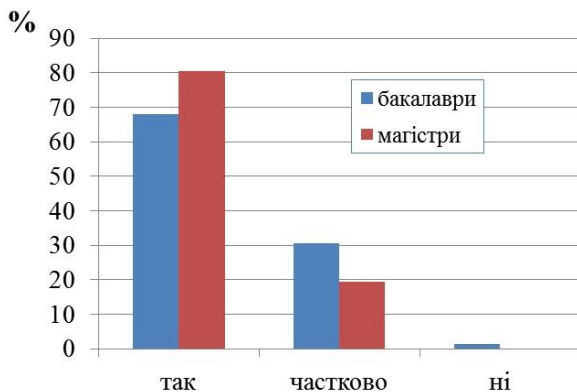


Рис. 9. Задоволеність студентів комунікацією з викладачами

Потрібно звернути увагу на те, що рівень задоволеності у студентів, які навчаються за освітнім рівнем магістр, вищий, ніж у бакалаврів, що можна пояснити наявністю більшого досвіду у навчанні, а відповідно і розумінням, як саме потрібно формулювати свої запитання у зверненні до викладача, наприклад, зробити скріншот розрахунку або включити демонстрацію екрана та пояснити, що саме не зрозуміло.

Крім питань стосовно вивчення дисциплін, у студентів виникають питання

організаційного характеру, з якими вони можуть звернутися до деканатів.

Задоволеність (повна або часткова) роботою деканатів достатньо висока (94,3 % – бакалаври, 95,1 % – магістри) (рис. 10).

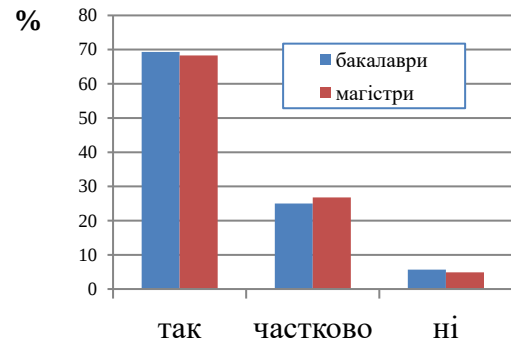


Рис. 10. Задоволеність роботою деканатів щодо організації навчального процесу

В умовах наявності загроз здоров'ю та життю, як свого, так і своїх близьких, досить складно сконцентруватися на навчанні, особливо якщо студенти перебувають на прифронтових територіях, тому було проведено опитування щодо впливу наявності загроз життю (повітряні тривоги) на можливість сконцентруватися на навчанні (рис. 11).



Рис. 11. Вплив повітряних тривог на здатність студентів сконцентруватися на виконанні самостійної роботи

Часті повітряні тривоги та їх довготривалість стають дедалі більш буденними (тільки 23,6 % бакалаврів та 19,5 % магістрів повітряна тривога заважає сконцентруватися), що підтверджується результатами опитування, а саме, що неможливо сконцентруватися на виконанні самостійної роботи переважно під час

ракетної атаки (47,1 % – бакалаври, 41,5 % – магістри).

Наведені результати свідчать про потребу студентів у психологічній підтримці (рис. 12).



Рис. 12. Відповіді на питання «Чи проводили у вашій групі кураторську годину, присвячену психологічній підтримці в умовах воєнного часу?»

Думка студентів щодо необхідності вивчення навчальної дисципліни, спрямованої на отримання навичок щодо забезпечення особистого захисту під час збройної та/або інформаційної агресії наведена на рисунку 13.

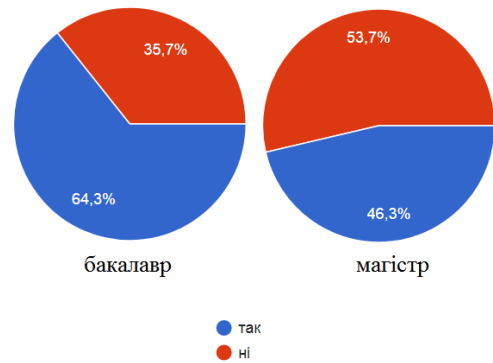


Рис. 13. Щодо необхідності вивчення дисципліни, спрямованої на отримання навичок щодо забезпечення особистого захисту під час збройної та/або інформаційної агресії

Більшість бакалаврів (64,3 %) вважають, що дисципліна з особистого захисту під час збройної та/або інформаційної агресії необхідна для вивчення, кількість магістрів, які підтримують таку думку, менша – 46,3 %.

Переваги, недоліки та якість дистанційного навчання. Студентам було запропоновано низку тверджень, які можна віднести до переваг дистанційного навчання. Вони мали змогу обрати декілька варіантів (рис. 14).

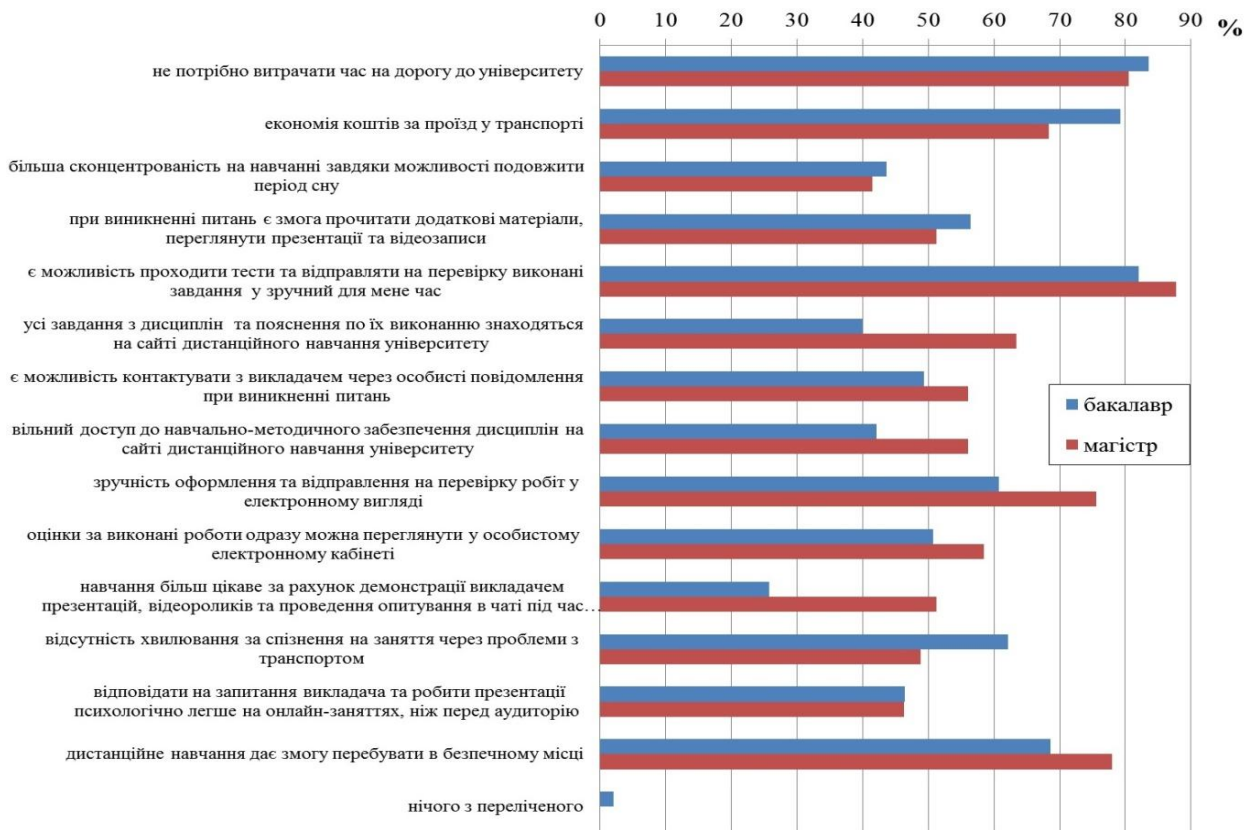


Рис. 14. Переваги дистанційного навчання

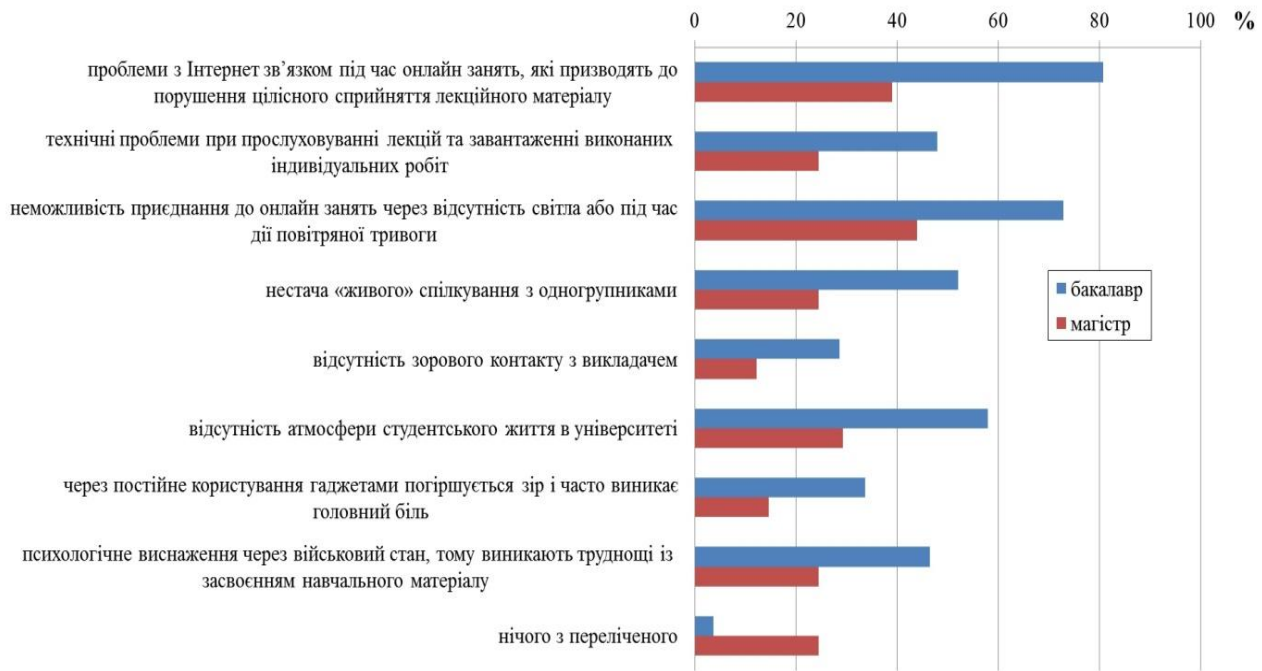


Рис. 15. Недоліки дистанційного навчання

Перевагами дистанційного навчання більшість (від 60 % та більше респондентів) вважає таке: не потрібно витрачати час на дорогу до університету; економія коштів за проїзд у транспорті; є можливість проходити тести та відправляти на перевірку виконані завдання у зручний для мене час; зручність оформлення та відправлення на перевірку робіт в електронному вигляді; дистанційне навчання дає змогу перебувати в безпечному місці (не потрібно наражатися на небезпеку по дорозі до/з університету).

Недоліків дистанційного навчання більше з точки зору бакалаврів, ніж магістрів (рис. 15).

Приблизно чверть магістрів (24,4 %) взагалі не вважає, що запропоновані твердження можна віднести до недоліків дистанційного навчання. Для бакалаврів найбільшим недоліком постають технічні проблеми, пов'язані з відсутністю електропостачання (72,9 %) або Інтернет-зв'язку (80,7 %). Також слід зауважити, що їм більше не вистачає «живого» спілкування з одногрупниками (52,1 %) та атмосфери студентського життя в університеті (29,3 %), тобто соціальної складової навчання.

Оскільки дистанційне навчання продовжує свій розвиток, студентам було

запропоновано оцінити зміни, що відбулися з початку впровадження карантину.

Незалежно від рівня, за яким студенти здобувають освіту, 22 % з них не вважають, що відбулися якісь зміни, і тільки 3,6 % бакалаврів вважають, що дистанційне навчання погіршилось (рис. 16).

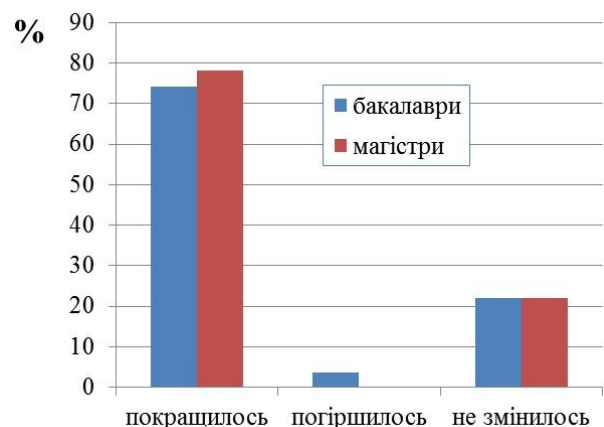


Рис. 16. Зміна якості дистанційного навчання з погляду студентів

Переважна більшість студентів схильється до думки, що зміни в дистанційному навчанні позитивні. Студенти бачать причину в поліпшенні дистанційного навчання переважно за рахунок їх поступової адаптації до дистанційного навчання та вдосконалення

курсів викладачами (44,3 % – бакалаври, 51,2 %) (рис. 17).



Рис. 17. Зміна якості дистанційного навчання

Загалом магістри більше задоволені дистанційною формою навчання, ніж бакалаври (рис. 18). Відсоток незадоволених серед бакалаврів – 5,7 %, магістрів – 2,4 %.

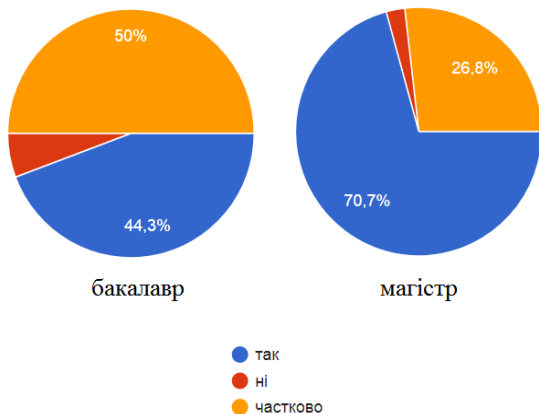


Рис. 18. Задоволеність дистанційною формою навчання

Після скасування воєнного стану в країні більшість магістрів обрала б дистанційну форму навчання, більшість бакалаврів – змішану (рис. 19).

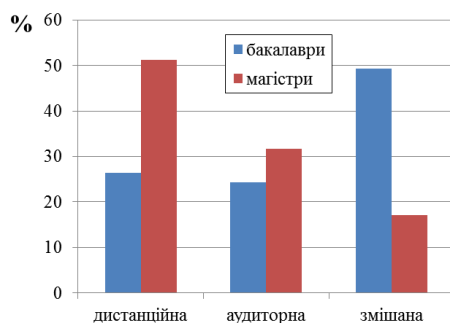


Рис. 19. Бажана форма навчання після скасування воєнного стану

Для студентів бакалаврського рівня, як уже зазначалося раніше, важливі соціальні

зв'язки з одногрупниками та викладачами, вони мають меншу адаптованість до дистанційного навчання, що може зумовлювати їх прагнення навчатися за змішаною формою навчання.

Студенти, які навчаються за освітнім рівнем магістра, вже мають вищу освіту, тому, враховуючи їх адаптованість до дистанційного навчання та те, що більшість із них вже працює, дистанційний формат навчання більше відповідає їх освітнім потребам.

Форма навчання, яка враховує інтереси студентів різних рівнів освіти в межах одного вищого навчального закладу (за результатами проведеного опитування Державною службою якості освіти України), вже впроваджена в окремих ВНЗ.

В аналітичній довідці наводиться інформація, що респонденти (онлайн-анкетування за IV квартал 2023 року) вказали різні підходи до організації навчання у змішаному форматі, один з яких: розподіл за роками навчання – навчання в офлайн-форматі для молодших курсів, онлайн – для старших [2].

Висновки

Результати проведеного онлайн-опитування серед здобувачів вищої освіти свідчать про поступову адаптацію всіх учасників навчального процесу до різних форм навчання. В цілому студенти задоволені проведенням онлайн-занять за розкладом (синхронний режим за допомогою платформи Zoom), і тільки 4,3 % – ні.

Щодо організації самостійної роботи, яка забезпечується наявністю дистанційних курсів, також переважна більшість студентів була задоволена. Крім того, студенти залишились задоволеними допомогою викладачів стосовно питань, які виникали у процесі виконання самостійних завдань, та деканатів у вирішенні організаційних питань.

Для комунікації поза онлайн-заняттями перевагу віддавали Viber, електронній пошті та Telegram, найменше – Zoom.

З психологічної точки зору існують проблеми з концентрацією уваги під час навчання, пов'язані із загрозами здоров'ю та життю. Результати опитування свідчать, що потрібно звернути більше уваги на психологічну підтримку. Це можна зробити, запропонувавши студентам для вивчення окрему вибірккову дисципліну, яка спрямована на отримання навичок щодо забезпечення особистого захисту під час збройної та/або інформаційної агресії, або додати до переліку обов'язкових тем для кураторських годин.

Серед переваг дистанційного навчання більшість респондентів вважає такі: економія часу та коштів на проїзд, зручність виконання самостійної роботи, можливість проходити тестування у зручний час та не

наражатися на небезпеку по дорозі до/з університету.

Основними перешкодами комфортного дистанційного навчання студенти вважають відсутність електропостачання або Інтернет-зв'язку. Крім того, бакалаврам більше, ніж магістрам, не вистачає «живого» спілкування з одногрупниками та атмосфери студентського життя в університеті.

Загалом студенти позитивно оцінюють зміни у дистанційній формі навчання, які відбулися після її впровадження з початку пандемії коронавірусу. Більшість студентів задоволена організацією та проведенням навчання у дистанційному форматі. Після скасування воєнного стану в країні більшість магістрів обрала б дистанційну форму навчання, більшість бакалаврів – змішану.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Державна служба якості освіти. Моніторингові дослідження. URL: <https://sqe.gov.ua/diyalnist/monitoringovi-doslidzhennya/> (дата звернення : 24.06.2024).
2. Державна служба якості освіти. Інформаційно-аналітична довідка щодо організації освітнього процесу в закладах фахової передвищої та вищої освіти України в умовах воєнного стану (за результатами щоквартального онлайн-анкетування, IV квартал 2023 року). URL: https://sqe.gov.ua/wp-content/uploads/2024/04/IAD_IV_kvartal_2023.pdf (дата звернення : 26.06.2024).

REFERENCES

1. *Derzhavna sluzhba yakosti osvity. Monitorynhovi doslidzhennia* [State Service of Education Quality of Ukraine. Monitoring studies]. URL: <https://sqe.gov.ua/diyalnist/monitoringovi-doslidzhennya/>. (Accessed : 24 June 2024). (in Ukrainian).
2. *Derzhavna sluzhba yakosti osvity. Informatsiino-analitychna dovidka shchodo orhanizatsii osvitnoho protsesu v zakladyakh fakhovoї peredyshchoї ta vyshchoї osvity Ukrainy v umovakh voiennoho stanu (za rezultatsamy shchokvartalnoho onlain-anketuvannia, IV kvartal 2023 roku)* [State Service of Education Quality of Ukraine. Informational and analytical reference on the organization of the educational process in institutions of professional pre-higher and higher education of Ukraine under martial law (based on the results of a quarterly online survey, the 4th quarter of 2023)]. URL: https://sqe.gov.ua/wp-content/uploads/2024/04/IAD_IV_kvartal_2023.pdf. (Accessed : 26 June 2024). (in Ukrainian).

Надійшла до редакції: 03.09.2024.

УДК 69.009:658.7

DOI: 10.30838/UJCEA.2312.301024.142.1103

ОПТИМІЗАЦІЯ УПРАВЛІННЯ ЛОГІСТИКОЮ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ НА БУДІВЕЛЬНИХ МАЙДАНЧИКАХ: ДОСЛІДЖЕННЯ НАЙКРАЩИХ ПРАКТИК І СТРАТЕГІЙ

СОКОЛОВ І. А.¹, *докт. техн. наук, проф.*,
ШОНІЯ І. Д.^{2*}, *асп.*

¹ Кафедра організації і управління будівництвом, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел.+38 (067) 628-77-77, e-mail: sokolov.ihor@pdaba.edu.ua; sokolov.ihor@365.pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-8366-4301

^{2*} Кафедра організації і управління будівництвом, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел.+38 (063) 410-63-81, e-mail: shoniyairakliy@gmail.com

Анотація. Постановка проблеми. У цій статті детально розглядається важливість оптимізації управління логістикою на будівельних майданчиках, яка виступає ключовим елементом для підвищення загальної ефективності та продуктивності в сучасній будівельній індустрії. В умовах зростаючої конкуренції та складності будівельних проєктів, ефективне логістичне управління стає критичним фактором успіху. Значні перевитрати бюджету та затримки у виконанні будівельних проєктів часто пов'язані з неефективним логістичним менеджментом, особливо через повторне виконання робіт, помилки у постачанні матеріалів та недоліки в координації дій між різними учасниками проєкту. Це призводить до зайвих витрат, втрати часу та зниження якості виконання робіт. **Мета дослідження.** Стаття зосереджується на розробці та впровадженні нових стратегій та методів оптимізації логістики на будівельних майданчиках. Це включає в себе ефективне управління матеріальними ресурсами, поліпшення процесів зберігання та доставки будівельних матеріалів, а також інтеграцію різних аспектів логістичного ланцюга з використанням сучасних інформаційних технологій. Дослідження включає глибокий аналіз наявної літератури та поточних практик на будівельних майданчиках, що дозволяє виявити основні проблеми та визначити ключові виклики та можливості для покращення. **Методологія.** Для досягнення поставленої мети використовуються методи системного аналізу, порівняльних досліджень та моделювання логістичних процесів. Аналізуються реальні кейси з будівельної практики, проводяться опитування експертів та спеціалістів у галузі логістики та будівництва. **Висновки.** Результати дослідження можуть бути корисними для покращення процесів управління логістикою на будівельних майданчиках, що сприятиме зниженню втрат ресурсів та підвищенню ефективності у будівельній індустрії. Також стаття вносить важливий вклад у розуміння критичної важливості логістичного менеджменту в сучасному будівництві та пропонує конкретні рекомендації та практичні інструменти для його покращення. Це може сприяти підвищенню конкурентоспроможності будівельних компаній та розвитку галузі в цілому.

Ключові слова: оптимізація логістики; будівництво; ефективність; управління ресурсами; планування майданчика; IoT

OPTIMIZATION OF LOGISTICS MANAGEMENT TO INCREASE EFFICIENCY AT CONSTRUCTION SITES: RESEARCH OF BEST PRACTICES AND STRATEGIES

SOKOLOV I.A.¹, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,
SHONIYA I.D.^{2*}, *Postgrad. Stud.*

¹ Department of Organisation and Management in Construction, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel.+38 (067) 628-77-77, e-mail: sokolov.ihor@pdaba.edu.ua; sokolov.ihor@365.pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-8366-4301

^{2*} Department of Organisation and Management in Construction, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel.+38 (063) 410-63-81, e-mail: shoniyairakliy@gmail.com

Abstract. Problem Statement. Problem Statement. This article provides a detailed examination of the importance of optimizing logistics management on construction sites, which serves as a key element for enhancing overall efficiency and productivity in the modern construction industry. In the context of increasing competition and complexity of construction projects, effective logistics management becomes a critical success factor. Significant budget overruns and delays in the execution of construction projects are often associated with inefficient logistics management, especially due to rework, errors in material supply, and deficiencies in coordination among different project participants. This leads to unnecessary expenses, loss of time, and a decrease in the quality of work performed. **The purpose of this study.** The article focuses on the development and implementation of new strategies and methods for optimizing logistics on construction sites. This includes effective management of material resources, improvement of storage and delivery processes of construction materials, as well as the integration of various aspects of the logistics chain using modern information technologies. The research involves an in-depth analysis of existing literature and current practices on construction sites, which allows identifying the main problems and determining key challenges and opportunities for improvement. **Methodology.** To achieve the set goal, methods of system analysis, comparative studies, and modeling of logistics processes are used. Real cases from construction practice are analyzed, and surveys of experts and specialists in the fields of logistics and construction are conducted. **Conclusions.** The research results can be useful for improving logistics management processes on construction sites, which will contribute to reducing resource losses and increasing efficiency in the construction industry. The article also makes an important contribution to understanding the critical importance of logistics management in modern construction and offers specific recommendations and practical tools for its improvement. This can promote the competitiveness of construction companies and the development of the industry as a whole.

Keywords: *logistics optimization; construction; efficiency; resource management; site planning; IoT*

Постановка проблеми. Оптимізація управління логістикою на будівельних майданчиках відіграє ключову роль у забезпеченні ефективності та дотриманні термінів реалізації будівельних проектів. Неадекватне управління логістикою може призвести до значних затримок, збільшення витрат та зниження продуктивності. Основним викликом є повторне виконання робіт, зумовлене помилками у плануванні або виконанні, що є однією з головних причин перевитрат і часових затримок.

Проблеми з ефективним управлінням матеріалами та ресурсами, такі як втрати матеріалів та надмірні запаси, також сприяють зайвим витратам. Змінність умов будівництва, включаючи непередбачувані затримки, неправильне планування поставок, та недоліки у координації між учасниками проекту, значно впливають на логістичну ефективність. Ці фактори не тільки підвищують витрати, але й знижують якість та продуктивність.

Недостатня координація між різними етапами будівельного проекту також є значною проблемою, що веде до збоїв у логістичних операціях та впливає на ефективність проекту в цілому. Щоб вирішити ці проблеми, потрібно розробити ефективні стратегії та методи для поліпшення планування, координації та

виконання логістичних завдань. Це включає застосування сучасних технологій, покращення комунікації та координації між учасниками проекту, а також впровадження інноваційних підходів у логістичному менеджменті.

Мета дослідження. Метою цієї статті є всебічне дослідження та ідентифікація ефективних стратегій для покращення логістичних процесів на будівельних об'єктах. Основні цілі дослідження включають аналіз поточного стану логістичних процесів, оцінку існуючих методів управління логістикою з акцентом на виявлення основних проблем та викликів.

Також важливо дослідити вплив різних аспектів, таких як планування поставок, управління матеріалами, інтеграція технологічних інновацій, зокрема IoT та автоматизоване управління запасами, на ефективність логістики.

Дослідження також передбачає огляд нових підходів і методик оптимізації, включаючи інтеграцію сучасних технологій, таких як використання AI для прогнозування потреб у матеріалах, та вдосконалення процесів планування. Важливо також проаналізувати, як впровадження цих стратегій може підвищити ефективність, знизити витрати та

скоротити часові рамки виконання будівельних проєктів.

Стаття подає конкретні рекомендації та приклади успішного впровадження виявлених стратегій оптимізації. Ці цілі спрямовані на глибоке розуміння проблем в логістиці будівництва та розробку інноваційних підходів для їх вирішення, що відкриває нові горизонти для підвищення ефективності та продуктивності у цій важливій сфері.

Аналіз публікацій. Було розглянуте дослідження, опубліковане в «Frontiers in Built Environment» [1]. Воно було зосереджене на аналітиці впливу логістичних аспектів у сфері будівництва. Метою дослідження було визначення ключових факторів, які впливають на ефективне використання ресурсів та енергії на будівельних об'єктах. Використовуючи метод Дельфі, залучаючи 28 фахівців із Техасу, дослідники проаналізували 13 логістичних факторів. Значною мірою вони виявили, що кваліфікація монтажників, технології, ефективне планування, а також управління матеріалами є вирішальними для мінімізації відходів.

Цікаво, що дослідження висвітлює Дельфі як метод, що дозволяє враховувати різні думки експертів та досягати консенсусу. Цей підхід виявив п'ять факторів, які визначають ефективність роботи на будівельному майданчику. Ключові висновки дослідження підкреслюють вплив цих логістичних факторів на якість будівельних процесів, в тому числі на зменшення відходів і використання енергії [1].

Інше дослідження, що було проведене у Відні [2], розкриває інноваційні підходи до вдосконалення логістики в міському будівництві. Воно відкриває шляхи до координації робочих сил, забезпечення своєчасної доставки та ефективного зберігання будматеріалів. Підхід передбачає ієрархічну оптимізаційну модель, яка інтегрує як тактичне, так і оперативне планування логістики.

На тактичному рівні, дослідження визначає щотижневі плани задач, що

враховують доступність ресурсів на різних етапах будівництва. Оперативне планування включає в себе щоденне управління доставкою матеріалів, використовуючи маршрутизацію запасів для визначення оптимальних шляхів доставки.

Розв'язання цих завдань базується на змішаному цілочисельному програмуванні та використанні програмного забезпечення CPLEX, що дозволяє ефективно вирішувати складні оптимізаційні задачі. Тестування цього методу проводилося на реальних даних із Відня, де враховувалися різноманітні будівельні характеристики, задачі, транспортні витрати та інші обмеження.

Результати свідчать, що ієрархічна модель логістики покращує координацію, доставку та зберігання матеріалів, оптимізує використання ресурсів та знижує транспортні витрати. Тактичне планування включає в себе екологічні аспекти та штрафи за затримки, а оперативне – адаптується до непередбачуваних змін і потреб. Експериментальні дані вказують на значне скорочення часу виконання проєктів, транспортних витрат, персональних витрат, штрафів та витрат на зберігання у порівнянні з традиційними підходами [2].

Також у сфері управління будівництвом відбулося значне дослідження [3], спрямоване на розробку системи планування логістики матеріалів, відомої як Congested Construction Logistics Planning (C2LP).

Основна мета цієї ініціативи полягала у вдосконаленні управління обмеженим простором на переповнених будівельних майданчиках. Інноваційний підхід системи C2LP полягав у оптимізації простору для зберігання матеріалів, інтегруючи ключові фактори, такі як час доставки, наявність простору та логістичні витрати, з метою зниження загальних витрат на логістику та підвищення ефективності управління ресурсами.

Це дослідження було унікальним завдяки використанню генетичних алгоритмів для розробки та аналізу

найбільш ефективних планів логістики матеріалів (рис. 1) [3].

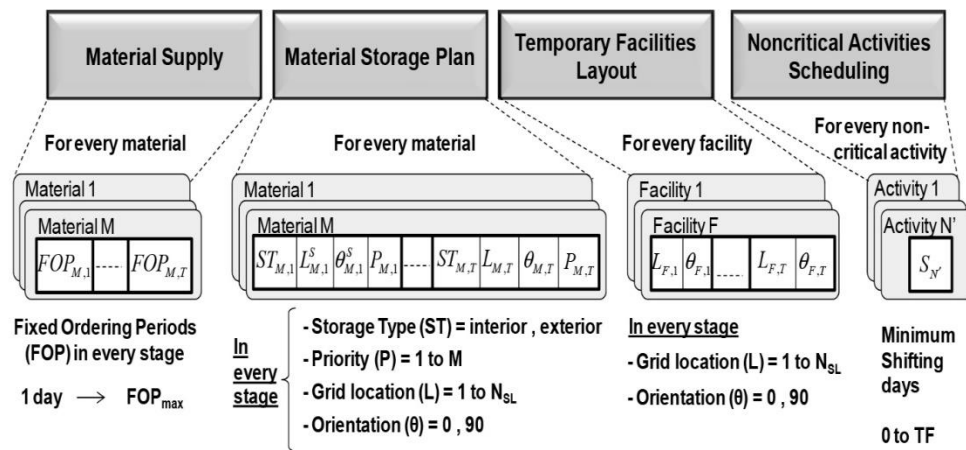


Рис. 1. Оптимізація рішень у системі C2LP змінними параметрами

Генетичні алгоритми, інспіровані природним добром, були використані для визначення оптимальних стратегій розміщення та переміщення матеріалів, дозволяючи симулювати різні сценарії логістики та оптимізувати використання простору.

Оцінка ефективності системи C2LP була здійснена на основі реальних даних з будівництва багатоповерхової будівлі.

Результати дослідження [3] показали, що система виявилася ефективною у зниженні витрат на логістику та оптимізації використання обмеженого простору на переповнених будівельних майданчиках, а також у покращенні управління матеріальними ресурсами, що є ключовим аспектом успішного ведення будівельних проектів (рис. 2) [3].

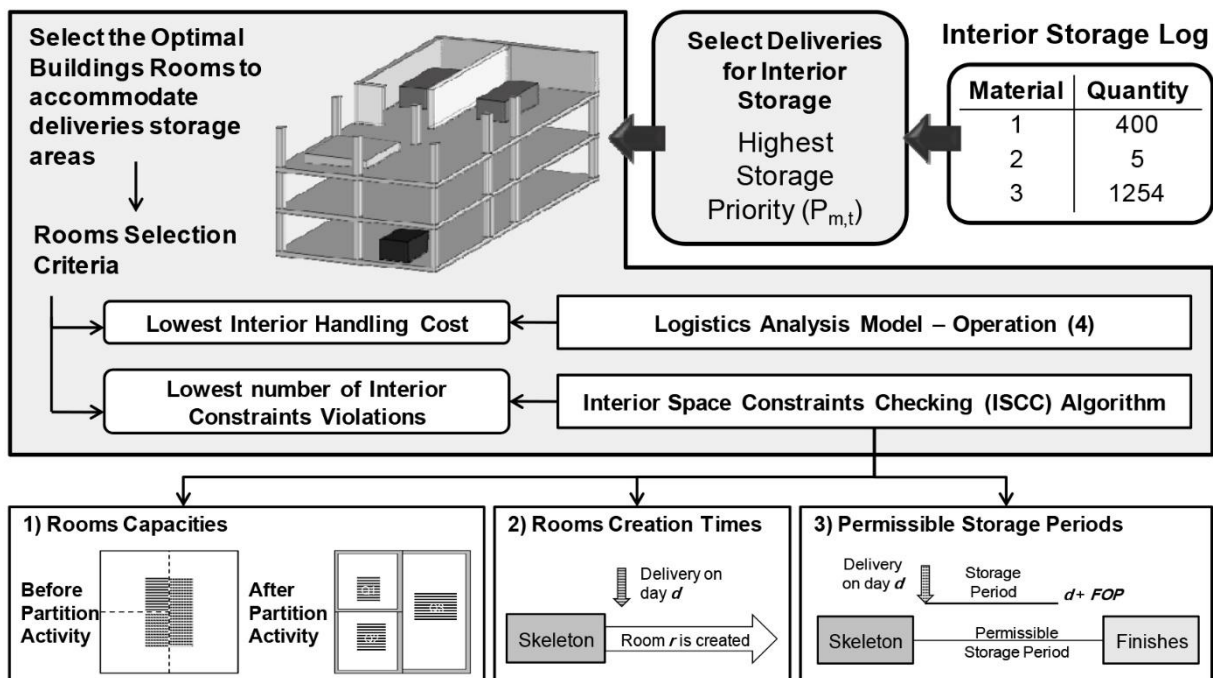


Рис. 2. Розподіл внутрішніх просторів будівлі для зон зберігання матеріалів

У підсумку, дослідники підкреслили важливість системи C2LP у контексті оптимізації логістики.

Ці результати відкривають шляхи для ширшого застосування системи C2LP у будівельній галузі як ефективного інструменту логістичного управління [3].

Науковці зі США, які займались оптимізацією логістичного планування [4], сконцентрували свої зусилля на створенні моделі, яка спрямована на поліпшення координації логістики матеріалів у контексті будівельних проектів. Основною метою було зниження логістичних витрат та оптимізація взаємодії між процесами постачання матеріалів та їх розташуванням на будівельному майданчику. Розроблена модель включала в себе розв'язання проблем, пов'язаних із доставкою, зберіганням матеріалів, а також вибором найефективніших методів для їх розподілу та використання.

Дослідження [4] базувалося на створенні комплексної моделі, яка складається з двох ключових модулів: модулю логістики постачання та модулю логістики місця розташування. Ці модулі аналізують залежності між рішеннями щодо постачання матеріалів та їх плануванням на будівельному майданчику. Для оптимізації рішень були використані генетичні алгоритми, які дозволяють аналізувати різні сценарії та вибирати найефективніші стратегії.

Аналіз був проведений з використанням даних про постачальників, будівельні майданчики, витрати на покупки, доставку, а також детальний будівельний графік. Ці дані допомогли дослідникам визначити критичні фактори, що впливають на логістику матеріалів. Результати дослідження [4] підтвердили, що ефективна координація між постачанням та розміщенням матеріалів може істотно знизити витрати та покращити продуктивність. Виявлено, що інтегрований підхід до логістики запобігає затримкам у поставках, неефективному використанню простору та загальному зниженню продуктивності.

Науковці наголошують на важливості інтеграції та оптимізації логістичних рішень для зниження витрат у будівництві. Розроблена модель демонструє свою здатність ефективно координувати постачання матеріалів та їх розміщення на будівельних майданчиках, тим самим знижуючи витрати та підвищуючи продуктивність [4].

У майбутньому можливість включення додаткових аспектів логістики, таких як планування маршрутів для транспортування, управління запасами, координація між різними учасниками проекту, а також врахування екологічних та безпекових стандартів. Це може призвести до розробки більш комплексних та ефективних логістичних стратегій, які допоможуть знизити витрати, підвищити продуктивність та зменшити вплив на довкілля [4].

Ще один метод оптимізації був висвітлений у статті [5]. Він полягає у використанні сучасних технологій для автоматизації складських та логістичних процесів. Автори проаналізували переваги та труднощі, пов'язані з автоматизацією, наголошуючи на успішних прикладах впровадження робототехніки у провідних компаніях, таких як Amazon, IKEA та Tesla.

Вони вважають, що роботизація складів є ключовим елементом для підвищення ефективності, безпеки та зниження витрат, підкреслюючи важливість адаптації автоматизації до специфіки кожного бізнесу, а також використання передових технологій в області управління, навігації та захисту даних. Особлива увага приділяється архітектурі Інтернету речей (IoT), яка включає в себе розумні пристрої, IoT-додатки та інтерфейси користувача. Ці компоненти забезпечують взаємодію людини з різними IoT-пристроями, а також аналізують та обробляють дані з допомогою машинного навчання та штучного інтелекту.

Автори підкреслюють, що Інтернет речей охоплює широкий спектр пристроїв, які можуть бути підключені до Інтернету та включені в IoT-мережу [5].

Ключовими аспектами для майбутніх досліджень в цьому напрямці є оцінка

ефективності роботизації, забезпечення безпеки та надійності роботів, баланс між роллю людини та роботів, адаптацію роботизації до різних умов і потреб, а також соціальні та етичні аспекти роботизації [5].

Науковці зі США розробили та впровадили інноваційну автоматизовану систему оптимізації логістики будівництва під назвою «Automated Multi-objective Construction Logistics Optimization System» (AMCLOS) [6].

Ця система створена для допомоги організаторам будівництва у вирішенні завдань, пов'язаних із плануванням закупівель та зберіганням матеріалів на будівельних майданчиках, враховуючи їх особливості та умови.

Також система забезпечує легке введення даних про графік будівництва. AMCLOS інтегрує ці дані, полегшуючи аналіз просторово-часових зв'язків.

Ключовою особливістю AMCLOS є використання багатокритеріальної оптимізації та алгоритмів для мінімізації витрат на планування логістики та зменшення ризику затримок у графіках проектів.

Система AMCLOS [6] включає модулі для вилучення просторових даних, планування логістики будівництва та оптимізації логістики.

Застосування системи AMCLOS було продемонстровано на прикладі реального проекту будівництва житлового комплексу.

Однією з унікальних можливостей AMCLOS є автоматизоване вилучення просторових даних з електронних документів проектування, включаючи моделі будівлі Building Information Modeling (BIM) (рис. 3) [6].

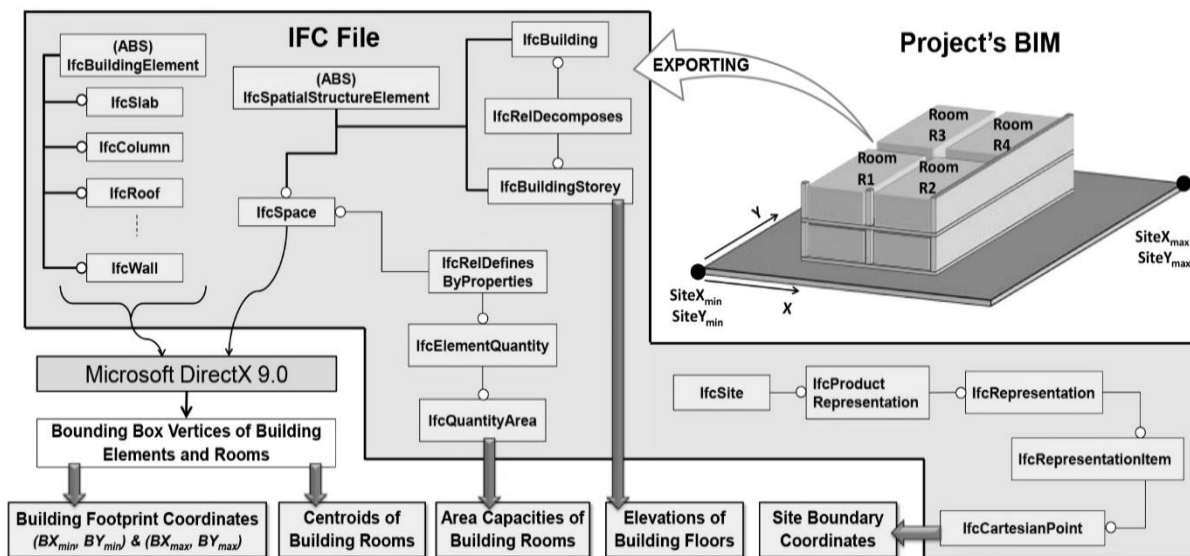


Рис. 3. Скорочена блок-схема процесу отримання просторових даних

В результаті система AMCLOS виявилася ефективним інструментом для планування логістики, дозволяючи враховувати динамічні умови будівельного майданчика та багатокритеріальні цілі проекту та сприяла зниженню витрат на логістику, мінімізації ризиків затримок та підвищенню ефективності використання простору.

В перспективі дослідження також відкрило нові напрямки для подальших досліджень. Наприклад розширення функціоналу AMCLOS для різних проектів та логістичних завдань, інтеграція з іншими системами управління проектами та оцінка ефективності AMCLOS порівняно з іншими методами планування логістики, вдосконалення інтерфейсу програмного

забезпечення та візуалізації AMCLOS для зручності користувачів.

Ще одне цікаве дослідження в питанні оптимізації логістики було проведене в Швеції [7]. Це дослідження було зосереджене на аналізі транспортних моделей доставки будівельних матеріалів на 13 шведських будівельних майданчиках, включаючи час обороту. Дослідники застосували кількісний підхід, використовуючи вторинні дані, зібрані через системи бронювання, щоб оцінити вплив різних факторів на кількість транспортів, час доставки, типи транспортних засобів і вантажів, а також час обороту для різних типів доставок [7].

Автори вважали, що існують значні можливості для підвищення ефективності логістики будівництва за допомогою кращого планування та координації доставок. Вони запропонували розподіляти доставки протягом дня та тижня, а також об'єднувати менші вантажі, щоб скоротити кількість транспортів і час обороту [7].

У якості метода дослідження вони використали багатокейсовий підхід, який включав тип, розмір та вартість будівельних проєктів, та обирав проєкти на основі доступних даних про вагу, час, транспортний засіб і обладнання для розвантаження.

Для підвищення якості даних та підтвердження результатів аналізу проводилися зустрічі з логістичним консультантом [7].

За результатами дослідження були виявлені наступні важливі висновки:

- значна варіація у кількості транспортів та часі обороту серед різних проєктів;
- більшість доставок на 12 з 13 проєктів відбуваються між 07:00 та 09:00 від понеділка до четверга;
- вантажівки є найпоширенішим засобом доставки, а довгі товари та стандартні європіддони - найпоширенішим вантажем;
- час обороту варіюється від мінімуму до максимуму серед різних проєктів;

- товари, які потребують обробки краном, та легкі товари займають найбільше часу на оборот.

Це дослідження висвітлює ряд питань для майбутніх досліджень, зокрема щодо факторів, які впливають на різницю в кількості транспортів та часі обороту між проєктами, можливості зміни моделей доставки в будівництві, тощо [7].

Наукова новизна. Дослідження полягає у впровадженні новітнього підходу до управління логістикою, який поєднує традиційні методи з сучасними технологіями та інноваційними практиками. Такий підхід дозволяє створити більш ефективні та гнучкі логістичні системи для будівельних майданчиків, адаптовані до швидкозмінних умов роботи. Окрім того, застосування передових технологій, таких як, Інтернет речей (IoT), штучний інтелект та блокчейн, відіграє ключову роль у оптимізації логістичних процесів. Ці технології забезпечують можливість відстежувати та управляти логістичними потоками в реальному часі, підвищуючи точність і прозорість робочих процесів.

Наукова значимість дослідження також полягає у глибокому аналізі впливу логістики на загальну ефективність будівельних проєктів. Це включає розгляд аспектів витрат, часу, якості та стійкості. Дослідження пропонує інноваційні стратегії для управління логістикою, засновані на аналізі реальних випадків та актуальних досліджень, які спрямовані на підвищення гнучкості, зниження витрат та покращення координації між різними етапами будівництва.

Крім того, це дослідження вносить значний вклад у практичну сферу будівництва, пропонуючи конкретні методики та рекомендації для їх впровадження на будівельних майданчиках. Результати базуються на об'єктивних даних та глибокому аналізі, що забезпечує їх практичну цінність. Таким чином, аспекти новизни цього дослідження сприяють розвитку логістичної теорії та практики в сфері будівництва.

Загальні висновки. Інтегрований підхід до управління логістикою є необхідним для ефективної роботи на будівельних майданчиках. Він передбачає використання сучасних технологій, таких як IoT для моніторингу поставок у реальному часі, що дозволяє зменшувати витрати, оптимізувати часові рамки та підвищувати якість робіт.

Застосування новітніх технологій, включно з IoT, штучним інтелектом і блокчейном, відкриває нові можливості для управління логістикою. Ці інструменти забезпечують більшу прозорість, точність та ефективність. Особливо це помітно на прикладі блокчейна, який спрощує документообіг і контроль за матеріальними потоками.

Логістичні процеси мають безпосередній вплив на загальну ефективність будівельних проектів. Оптимізоване управління логістикою може значно скоротити витрати та час, необхідний для завершення проектів.

Розробка та впровадження інноваційних управлінських стратегій є критично важливою для подолання існуючих викликів у сфері будівельної логістики.

Рекомендації та методики, запропоновані в цій статті, можуть бути корисними для будівельних компаній, які прагнуть покращити свої логістичні процеси. Впровадження цих підходів обіцяє більш ефективне управління проектами та покращення загальних результатів.

Ці висновки підкреслюють важливість постійних досліджень та розвитку в області логістики будівництва, а також необхідність адаптації до змінюваних умов та викликів галузі.

Перспективи. Одним з ключових аспектів майбутніх досліджень є глибший аналіз впливу технологічних інновацій. Важливо з'ясувати, як саме інновації, такі як IoT, штучний інтелект, та блокчейн, можуть вдосконалити логістичні процеси в будівництві. Наприклад, застосування IoT для точного відстеження матеріалів може значно підвищити ефективність управління ресурсами.

Інший важливий напрямок дослідження полягає у вивченні впливу екологічних аспектів на логістику. Оскільки екологічна стійкість набуває все більшого значення у сучасному будівництві, необхідно розглянути, як екологічні вимоги та практики впливають на логістичні рішення і можуть сприяти підвищенню стійкості галузі.

Також важливим є розроблення інтегрованих логістичних систем. Дослідження повинно зосередитись на створенні комплексних систем управління, що об'єднують різні аспекти логістики, включаючи поставку, зберігання, транспортування та управління відходами.

Нарешті, необхідно оцінити вплив логістики на якість будівельних проектів. Важливо дослідити, як логістичні процеси впливають на кінцеву якість будівельних робіт.

Міжгалузеве дослідження логістичних систем також є перспективним напрямком. Аналізуючи логістичні стратегії в інших сферах, можна знайти нові ідеї та підходи, які можна адаптувати для будівельної індустрії.

Ці напрямки досліджень сприятимуть розвитку інноваційних підходів і покращенню ефективності будівельних проектів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Manish Kumar Dixit, Varusha Venkatraj, Fatemeh Pariafsai, Jason Bullen. Site logistics factors impacting resource use on construction sites : a delphi study. *Frontiers. Frontiers in Built Environment*. 2022. Vol. 8. DOI: 10.3389/fbuil.2022.858135. URL: <https://doi.org/10.3389/fbuil.2022.858135>
2. Pamela C. Nolz. Optimizing construction schedules and material deliveries in city logistics: a case study from the building industry. *Flexible Services and Manufacturing Journal*. 2021. № 33. Pp. 846–878. DOI: 10.1007/s10696-020-09391-7. URL: <https://doi.org/10.1007/s10696-020-09391-7>

3. Hisham Said and Khaled El-Rayes. Optimal material logistics planning in congested construction sites. Construction Research Congress 2012: Construction Challenges in a Flat World. 2012. DOI: 10.1061/9780784412329.159. URL: <https://www.researchgate.net/publication/262601645>
4. Hisham Said and Khaled El-Rayes. Optimizing material logistics planning in construction projects. Conference: Construction Research Congress. 2010. DOI: 10.1061/41109(373)120. URL: <https://www.researchgate.net/publication/262601662>
5. Автоматизація та роботизація складу і логістичних підприємств. URL: <https://sunone.com.ua/articles-uk/avtomatizaciya-ta-robotizaciya-skladu-i-logistichnih-pidpriemstv/>
6. Hisham Said and Khaled El-Rayes. Automated system for multi-objective optimization of construction supply and site logistics. Conference : Proceedings, Annual Conference – Canadian Society for Civil Engineering. 2013. URL: <https://www.researchgate.net/publication/289281020>
7. Ahmet Anil Sezer, Anna Fredriksson. Paving the path towards efficient construction logistics by revealing the current practice and issues. *Logistics*. 2021. № 5 (3). P. 53. URL: <https://doi.org/10.3390/logistics5030053>

REFERENCES

1. Manish Kumar Dixit, Varusha Venkatraj, Fatemeh Pariafsai and Jason Bullen. Site logistics factors impacting resource use on construction sites : a delphi study. *Frontiers. Frontiers in Built Environment*. 2022, vol. 8. DOI: 10.3389/fbuil.2022.858135. URL: <https://doi.org/10.3389/fbuil.2022.858135>
2. Pamela C. Nolz. Optimizing construction schedules and material deliveries in city logistics : a case study from the building industry. *Flexible Services and Manufacturing Journal*. 2021, no. 33, pp. 846–878. DOI: 10.1007/s10696-020-09391-7. URL: <https://doi.org/10.1007/s10696-020-09391-7>
3. Hisham Said and Khaled El-Rayes. Optimal material logistics planning in congested construction sites. Construction Research Congress 2012 : Construction Challenges in a Flat World. 2012. DOI: 10.1061/9780784412329.159. URL: <https://www.researchgate.net/publication/262601645>
4. Hisham Said and Khaled El-Rayes. Optimizing material logistics planning in construction projects. Conference: Construction Research Congress. 2010. DOI: 10.1061/41109(373)120. URL: <https://www.researchgate.net/publication/262601662>
5. *Avtomatyzatsiya ta robotyzatsiya skladu i lohistychnykh pidpryyemstv* [Automation and robotization of warehouse and logistics enterprises]. URL: <https://sunone.com.ua/articles-uk/avtomatizaciya-ta-robotizaciya-skladu-i-logistichnih-pidpriemstv/> (in Ukrainian).
6. Hisham Said and Khaled El-Rayes. Automated system for multi-objective optimization of construction supply and site logistics. Conference : Proceedings, Annual Conference – Canadian Society for Civil Engineering. 2013. URL: <https://www.researchgate.net/publication/289281020>
7. Ahmet Anil Sezer and Anna Fredriksson. Paving the path towards efficient construction logistics by revealing the current practice and issues. *Logistics*. 2021, no. 5 (3), p. 53. URL: <https://doi.org/10.3390/logistics5030053>.

Надійшла до редакції: 03.09.2024.

УДК 72:7.036.45

DOI: 10.30838/UJCEA.2312.301024.151.1104

СИМВОЛІЗМ В АРХІТЕКТУРНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

ХАРЧЕНКО К. С.¹, канд. техн. наук, доц.,

ГРЕБІННИК Т. О.², канд. іст. наук, доц.,

КАПЛЕНКО Д. Д.^{3*}, маг.

¹ Кафедра дизайну та реконструкції архітектурного середовища, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (098) 490-81-83, e-mail: katerinaharchenko75@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-1908-4852

² Кафедра філософії, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (095) 408-26-17, e-mail: grebinnyk.tetyana@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0003-1722-9242

^{3*} Архітектурний факультет, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (095) 684-70-17, e-mail: g1rk1na89@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-6034-9373

Анотація. *Постановка проблеми:* символізм в архітектурному середовищі використовується для вираження абстрактних ідей та створення зображень, які мають ідейне значення. Актуальність дослідження символізму в архітектурному середовищі обґрунтована потребою у поглибленні розуміння його ролі та значення у формуванні естетичного та ідейного змісту архітектурних об'єктів. *Мета роботи:* дослідити історію виникнення та особливості застосування символізму в архітектурному середовищі. *Завдання дослідження:* 1. Розглянути сутність та історію виникнення символізму як напрямку мистецтва. 2. Порівняти архітектурні об'єкти різних культур та епох з точки зору їх символічного навантаження. 3. Дослідити символізм знакових об'єктів архітектурної спадщини України. *Методи дослідження:* аналіз літературних джерел, історико-компаративний, іконографічний та семіотичний аналіз. *Висновки:* 1. Архітектурне середовище світу – не лише частина створеного та організованого людиною об'ємно-планувального рішення, призначеного для забезпечення життєдіяльності суспільства, а й складна система знаків та символів, яка розкриває світогляд різних культур та епох. 2. Аналіз та порівняння архітектурних об'єктів із різних куточків світу дає можливість зрозуміти їх символічне значення. 3. Символи в архітектурному середовищі: дозволяють передавати ідеї, концепції та поняття без словникового опису; надають архітектурним об'єктам унікальності та запам'ятовуваності; створюють зв'язок між архітектурою, історією, національною культурою та традиціями, а також особливу емоційну атмосферу архітектурного середовища. 4. Відомі архітектурні об'єкти та визначні місця України, такі як: Софійський собор, Хотинська фортеця, Личаківський цвинтар, Будинок із химерами та Майдан Незалежності – це не лише пам'ятки історії та культури, а й символи, які розкривають глибинний сенс українського буття. 5. Відродження та впровадження традиційних культурних образів українського народу в сучасному мистецтві відкриває великі перспективи збереження української ідентичності для майбутніх поколінь та надає символізму архітектурному середовищу.

Ключові слова: архітектурне середовище; символізм; архітектурна спадщина; знакові будівлі

SYMBOLISM IN THE ARCHITECTURAL ENVIRONMENT

KHARCHENKO K.S.¹, Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.,

GREBINNYK T.O.², Ph. D. (Historical Sc.), Assoc. Prof.,

KAPLENKO D.D.^{3*}, Second-level Graduate (Master's Degree)

¹ Department of Design and Reconstruction of Architectural Space, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Architect Oleh Petrov Str., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (098) 490-81-83, e-mail: katerinaharchenko75@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-1908-4852

² Department of Philosophy, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Architect Oleh Petrov Str., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (095) 408-26-17, e-mail: grebinnyk.tetyana@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0003-1722-9242

^{3*} Faculty of Architecture, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Architect Oleh Petrov Str., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (095) 684-70-17, e-mail: g1rk1na89@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-6034-9373

Abstract. Statement of the problem: symbolism in the architectural environment is used to express abstract ideas and create images that carry ideological meaning. The relevance of the study of symbolism in the architectural environment is justified by the need to deepen the understanding of its role and significance in the formation of the aesthetic and ideological content of architectural objects. **The purpose of the work:** to investigate the history of the emergence and features of the use of symbolism in the architectural environment. **Tasks of the research:** 1. To consider the essence and history of the emergence of symbolism as a direction of art. 2. Compare architectural objects of different cultures and eras from the point of view of their symbolic load. 3. To study the symbolism of iconic objects of the architectural heritage of Ukraine. **Research methods:** analysis of literary sources, historical-comparative, iconographic and semiotic analysis. **Conclusions:** 1. The architectural environment of the world is not only a part of the volume-planning solution created and organized by man, designed to ensure the vital activity of society, but also a complex system of signs and symbols that reveals the worldview of different cultures and eras. 2. Analysis and comparison of architectural objects from different parts of the world makes it possible to understand their symbolic meaning. 3. Symbols in the architectural environment: allow to convey ideas, concepts and concepts without a dictionary description; give architectural objects uniqueness and memorability; create a connection between architecture, history, national culture and traditions, as well as a special emotional atmosphere of the architectural environment. 4. Famous architectural objects and landmarks of Ukraine, such as: Sophia Cathedral, Khotyn Fortress, Lychakiv Cemetery, House of Chimeras and Independence Square, are not only monuments of history and culture, but also symbols that reveal the deep meaning of Ukrainian being. 5. The revival and implementation of traditional cultural images of the Ukrainian people in modern art opens up great prospects for the preservation of Ukrainian identity for future generations and gives symbolism to the architectural environment.

Keywords: architectural environment; symbolism; architectural heritage; iconic buildings

Вступ. Під терміном «символізм» (фр. symbolisme, від грец. Σύμβολο – знак, умовне позначення) розуміють «літературно-мистецький напрям кінця XIX – початку XX ст., основоположники якого, базуючись на ідеалістичній філософії Шопенгауера, «теорії несвідомого» Едуарда Гартмана і поглядах Фрідріха Ніцше, основою мистецької творчості проголосили символ – таємну ідею, приховану у глибині всіх навколишніх, а також потойбічних явищ, яку можливо розкрити, збагнути й відобразити тільки за допомогою мистецтва» [7].

В архітектурному середовищі символізм використовується заради художнього вираження та подання абстрактних ідей, концепцій або цінностей, а також створення зображень, форм та композицій, які реалізують естетичну задумку та відіграють важливу роль у сприйнятті архітектурних об'єктів.

Символи, які несуть у собі ідейне значення, здатні викликати у спостерігачів певні емоційні асоціації та залучати їх в інтелектуальні роздуми. Актуальність дослідження символізму в архітектурному середовищі обґрунтована потребою у поглибленні розуміння його ролі та значення у формуванні естетичного та ідейного змісту архітектурних об'єктів.

Зв'язок роботи з науковими планами та темами: дослідження виконане згідно з науково-дослідницькою роботою кафедри ДРАС ПДАБА «Інноваційний підхід до формування та удосконалення архітектурного середовища» на 2024–2026 роки.

Мета: дослідити історію виникнення та особливості застосування символізму в архітектурному середовищі.

Завдання дослідження:

1. Розглянути сутність та історію виникнення символізму як напрям мистецтва.

2. Порівняти архітектурні об'єкти різних культур та епох із погляду їх символічного навантаження.

3. Дослідити символізм знакових об'єктів архітектурної спадщини України.

Методи дослідження: аналіз літературних джерел (вивчення наукової літератури з теорії архітектури, історії архітектури, культурології та семіотики), історико-компаративний аналіз (порівняння та аналіз архітектурних об'єктів різних культур та епох із погляду їх символічного навантаження); іконографічний аналіз (вивчення символів та знаків, що використовуються в архітектурних орнаментах, скульптурах, мозаїках та інших декоративних елементах); семіотичний

аналіз (розкриття значення архітектурних форм, просторів та композицій з точки зору семіотики та теорії знаків).

Аналіз літературних джерел. Для архітектурного символізму характерне використання форм, що мають загальноприйняте значення. Найбільшою здатністю вбачати подібний зміст у кожній формі мала середньовічна свідомість [8].

Так, наприклад, німецький та американський мистецтвознавець Отто фон Сімсон припускає, що абат Сюгерій (що вважається першим покровителем та «хрещеним батьком» готичного стилю середньовічної архітектури) під час перебудови відомого абатства в Сен-Дені (1144 рік, в наш час цю будівлю визнано першим готичним храмом) обрав 12 колон і для хорів, і для галереї як символ 12 пророків та 12 апостолів. Або 36 колон Меморіалу Лінкольна у Вашингтоні (1922 р.) символізують число штатів, що входили в США до моменту смерті президента [8].

Українські образотворчі митці-символісти, як і їхні європейські попередники й сучасники, для передачі своїх ідей використовували синтез кольорів та ліній. Елементи символізму наявні у творчості членів «Музагету» і «Грона» — Михайла Жука, Миколи Бурачека, Анатолія Петрицького та Юхима Михайлова. У Західній Україні слід відмітити Олексу Новаківського, раннього Павла Ковжуна, Р. Лісавського, Льва Геца, Осипа Сорохтея та інших; на еміграції до неосимволізму можна віднести малярську творчість Віктора Цимбала [7]. Серед сучасних вітчизняних науковців дослідженню символізму в архітектурі присвятили свою увагу Н. М. Хома (2015), А. І. Марковський (2020), І. Б. Осташук (2020), В. В. Михалевич (2019), Л. Р. Гнатюк (2020), В. О. Хайдуков (2023) та інші [1; 3–5, 11; 14].

Н. М. Хома (2015), фокусуючись на архітектурній семантиці, вивчав архітектуру як знакову систему, символи якої значимі для розуміння сутності та специфіки політики, а саме: як впливають архітектурні

форми та образи на політичний світогляд особистості. Архітектурні об'єкти науковець аналізує через призму семіотики (як знаки з певним символічним підтекстом), а політична реальність, на думку дослідника, повинна представлятися у її знаковому (втіленому в архітектурі) відображенні [14].

Л. Р. Гнатюк (2020) та В. О. Хайдуков (2023) досліджували сакральну архітектуру [1; 11]. При цьому Л. Р. Гнатюк аналізував історичні зміни ролі мистецтва та значення символів у формуванні сакрального архітектурного простору [1].

За дослідженнями В. О. Хайдукова, однією з особливостей сакральної архітектури було формування архітектурного образу за допомогою сакральних символів, а саме символу хреста (об'ємно-просторового рішення храму, в якому несні конструкції утворюють архітектурний простір на основі тривимірного символу хреста). За дослідженнями вченого, хрестово-купольна система, що набула подальшого значного поширення в архітектурних спорудах хрестоподібних православних храмів давньоруської території, була розроблена у ранньовізантійську епоху та поширилася на Кавказ, у Палестину та на Балкани [11].

Певна кількість науковців оприлюднила свої дослідження окремих предметів, геральдичних символів або образів [3; 5; 10]. Так, І. Тимовчак (2021) досліджував національну символіку радянської України як елемент ідентичності держави в архітектурі будівель дипломатичних представництв [10].

І. Б. Осташук (2020) вивчав витоки формування рослинного символізму в християнському храмовому мистецтві, зокрема, на прикладі текстів Святого Письма. У своїх дослідженнях науковець розкриває сутність рослинного символізму Софійського собору та Кирилівського храму у Києві [5].

Окрім І. Б. Осташука, дослідженням середньовічного християнського храмового мистецтва займалися: В. В. Михалевич (2019), Л. Р. Гнатюк та В. О. Хайдуков та інші [1; 4; 5; 11; 12].

В. В. Михалевич вважав, що християнські символи існують як для приховування істини, так і для її виявлення та пізнання; на його думку, пізнання вищої істини можливе лише на основі розкодування символічних образів, що втілені у середньовічному мистецтві та архітектурі, а конкретно у християнському храмі [4].

Л. Р. Гнатюк вивчав тенденції формотворення сакрального простору у XX ст., а також розвиток християнського символізму. У своїх дослідженнях науковець порівнює три найбільш поширені у XX столітті теорії розуміння поняття символу: «традиційний», «гегелівський» та «касірерівський» [1].

У науковому дослідженні В. О. Хайдукова висвітлюється проблема формотворення в архітектурі хрестоподібних православних храмів та розміщення цього виду сакральних споруд відповідно до містобудівних і природних умов. Науковець виділив п'ять основних ознак застосування символу хреста в православних храмах: в архітектурному просторі, в екстер'єрі, в інтер'єрі, в плані та у формотворенні фасаду [11].

С. Сторожук (2023) вивчав символізм окремих архітектурних об'єктів або особливості художнього стилю Європи від середини XIII ст. до кінця XVIII століття [9].

У статті А. І. Марковського (2020) проаналізовано зміни підходів до використання арки як впізнаваного символу в радянській архітектурі України 30–50-х років XX ст., що вдало проявляє домінуючі вподобання як керівного апарату – замовників, так і виконавців – архітекторів, що намагалися рефлексувати на відповідний соціальний запит. Аналіз проводився на основі трьох київських конкурсів: на забудову Урядового кварталу (1934–1935 рр.), на відновлення Хрещатику (1944–1947 рр.) та на проєкт триумфальної арки «На честь 300-річчя возз'єднання України з Росією» (1954 р.) [3].

Виклад матеріалу. Символізм як напрям мистецтва виник у Франції у 1880-х як реакція проти міщанства і позитивізму

[7]. Але застосування символів в архітектурному середовищі має більш давню історію та сягає корінням в доісторичні часи, коли люди використовували символи для позначення важливих місць, ритуалів та вірувань.

Так, наприклад, Піраміди Гізи (Єгипет, XXIII ст. до н.е.), збудовані як гробниці фараонів Хуфу, Хафрі та Менкаура, втілюють високий рівень розвитку давньоєгипетської архітектури та інженерії та символізують велич давньоєгипетської цивілізації та її віру в загробне життя; Акрополь (Греція, 5 ст. до н.е.), що був релігійним центром Афін та місцем проведення важливих подій, символізує велич античної Греції та її культури, а Піраміди Сонця (Мексика, 200 р. н.е.), які використовувалися для релігійних ритуалів та астрономічних спостережень та втілювали зв'язок людини з космосом та богами, символізують велич та могутність ацтекської цивілізації.

Аналізуючи символізм в архітектурному середовищі в різні історичні періоди, слід зауважити, що значення того чи іншого символу з часом може змінюватися залежно від культури, епохи та особистого сприйняття. На наш погляд, вивчення символізму в архітектурі допомагає краще зрозуміти історію, культуру та світогляд людей, які створили ці споруди.

За визначенням: «*символ*» – це знак, сутність, яка позначає іншу сутність. Знаком можуть виступати об'єкти, зображення, написане слово, явище і навіть дія, що замінює собою деяке інше поняття, використовуючи для цього асоціацію, подібність або домовленість (наприклад, коли матеріальний об'єкт використовується для позначення абстрактного поняття) [7].

Символи вказують на ідеї, поняття або інші асоціації, що залучають до сприйняття досвід та емоції. Як найпростіший приклад їх застосування можна розглядати символи, що використовуються на мапах (наприклад, перехрещені шаблі, які позначають місця битв).

Із філософської точки зору: «символізм будувався на сформульованому Шарлем

Бодлером законі «відповідностей», розімкнутих у безкінечний, постійно оновлюваний світ, де відбувається «активне самоперетворення внутрішнього на зовнішнє», що поєднує їх синтез та розбіжності» [2].

За світоглядом символістів: «сутність світу не може бути пізнана за допомогою раціоналістичних засобів, а доступна лише інтуїції, що базується на ірраціональній основі та розкривається через натяк осяяння» [2].

Наприклад, відомий теоретик символізму Ж. Мореас (1886 р.) писав, що символічна поезія – ворог «об’єктивного опису», для неї конкретні явища – лише видимість. Символісти вважали митця божеством, оскільки він інтуїтивно відчуває шлях до істини, а інтуїція ототожнювалася з містичним прозінням, бо за її допомогою митець пізнає правду «таємничішу і глибшу, ніж правда матеріальна» [2].

Символи роблять архітектурні об’єкти унікальними, додаючи їм індивідуальності та пізнаваності, працюючи на різних рівнях сприйняття архітектурного середовища: мікро-, мезо- та макро- (див. рис. 1–9).

Символи та символіка служать для вираження конкретних ідей, особливостей та концепцій у вигляді візуальних елементів для більшої символізації, ніж просто архітектурна конструкція.

Так, наприклад, знакові архітектурні об’єкти США, такі як: Статуя Свободи (1776 р.), Білий дім (1800 р.), Капітолій (1820 р.), Меморіал Лінкольна (1922 р.) та Емпайр-стейт-білдінг (1931 р.) є не лише пам’ятками історії та культури, а й символами, що розкривають глибинний сенс американського буття (рис. 1 а).

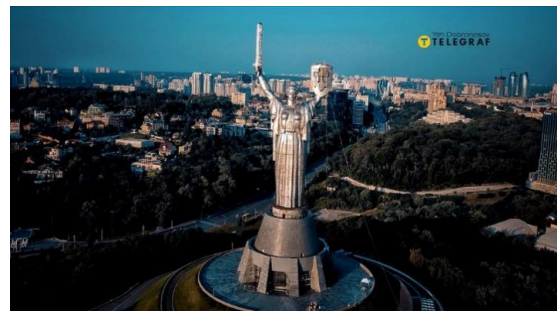
Символізм постає невід’ємною частиною сучасного архітектурного середовища, що використовується для вираження складних ідей та емоцій, а також робить його цінним інструментом для архітекторів.

Сучасні символічні об’єкти викликають у спостерігачів безліч емоцій та асоціацій. Наприклад, кольори, форми та матеріали додають яскравості та величі, а також

посилують вплив на психоемоційний стан людини (рис. 2).



а



б

Рис. 1. Символи незалежності в Америці та в Україні (макрорівень)



Рис. 2. Сплетені башти Ternary Tower у Кумаї як символ нескінченності (макрорівень)

Об’єкти культурної спадщини сучасної України також стали багатим джерелом інформації про події, культуру та світогляд українського народу. Вони відбивають вплив різних культур та епох, а також несуть у собі глибинний символічний зміст.

Так, Софійський собор (м. Київ, 1037 р.), символізуючи центр християнства на Русі та могутність Київської Русі, втілює кращі зразки візантійської архітектури та служить місцем паломництва. Хотинська фортеця (м. Хотин), що складається з фортеці (XIII ст.) та бастіону (XVIII ст.), уособлюючи обороноздатність України та багатовікову історію воєн та протистоянь,

являє собою зразок фортифікаційної архітектури популярний туристичний центр.

Личаківський цвинтар (XVIII–XX ст., м. Львів), що слугує некрополем видатних діячів України та місцем пам'яті та скорботи, відбиває історію та культуру різних народів та є зразком похоронної архітектури та скульптури.

Будинок із химерами (початок XX ст.), втілюючи творчість та експресію модерну, має містичне та символічне значення, а також є зразком модерн-архітектури та візитною карткою м. Київ.

Майдан Незалежності (XX–XXI ст.) – місце, де відбуваються народні протести і революції та простір для громадських подій, символізує центр української демократії та прагнення до свободи та незалежності.

Українська архітектура багата на релігійні, міфологічні, природні та геометричні символи та знаки, які

розкривають світогляд українського народу та його багатовікову історію (рис. 3).



Рис. 3. Липнина дзвіниці Софії Київської (мікрорівень)

Кожен із цих об'єктів має власне символічне значення, яке відображає історичні, культурні та політичні особливості України. Символи та знаки в українській архітектурі – невід'ємна частина культурної спадщини України та джерело інформації про світогляд українського народу (табл.).

Таблиця

Аналіз відомих знакових архітектурних об'єктів культурної спадщини України

Архітектурний об'єкт	Форма	Простір	Композиція	Значення	Оздоблення
Софійський собор (XI ст.)	велична, хрестово-купольна, монументальна	сакральний, ієрархічний, символічний	гармонійна, симетрична, підкреслює центральний купол	центр християнства на Київській Русі, духовна велич, зв'язок із небом	фрески з релігійними сюжетами; мозаїки Богородиці та святих; різьблення з орнаментами
Хотинська фортеця (XIII–XVIII ст.)	оборонна, масивна, з баштами та мурами	захищений, замкнутий, з чіткою ієрархією	динамічна, асиметрична, з акцентом на головну башту	воля до свободи, обороноздатність України, історична пам'ять	герб Хотина; скульптури воїнів; геометричні орнаменти
Личаківський цвинтар (XVIII–XX ст.)	різноманітня надгробків, каплиць та скульптур	меморіальний, скорботний з елементами сакрального	вільна, емоційна, з акцентом на пам'ятники видатним діячам	пам'ять про померлих, історія України, цінність людського життя	скульптури ангелів; барельєфи з релігійними сюжетами; символи скорботи та пам'яті
Будинок із химерами (XX ст.)	еклектична, з елементами модерну та містики	мінливий, динамічний, з акцентом на скульптурі	експресивна, асиметрична, з множинними акцентами	експресія, творчість, прагнення до нового	скульптури міфічних істот; маски та орнаменти; символи модерну
Майдан Незалежності (XX–XXI ст.)	відкритий, просторий, з монументом Незалежності	громадський, політичний, символічний	монументальна, симетрична, з акцентом на монумент	незалежність України, єдність народу, прагнення до свободи	скульптури борців за волю; козак Мамай; тризуб

Як символічні (знакові) об'єкти (засоби) можуть використовуватись: архітектурні форми, символічні елементи, матеріали, кольори, орнаменти, тощо.

Традиційно елементами культурної спадщини України вважаються: орнаменти (вишивка, різьблення); скульптури (барельєфи, статуї), мозаїки, вітражі, фрески, геральдика тощо (рис. 4, 5).

Архітектурний символізм можна реалізовувати завдяки застосуванню не

лише класичних архітектурних конструкцій, а й передових технологій (наприклад, світлові елементи, які створюють окремі образи чи лінії) [13]. Вторинні символи створюють умови для інтегрування культури в архітектуру (так, символи, що мають значення в конкретній культурі, більш зрозумілі для місцевого населення (рис. 6)).

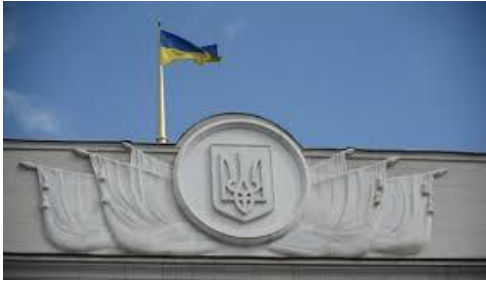


Рис. 4. Український геральдичний символ на фасаді будівлі (мікрорівень)



Рис. 5. Масонські символи в архітектурі Одеси (мікрорівень)



Рис. 6. Кам'яні вишиванки (мікрорівень)

Застосування однакових символів у різних об'єктах архітектурного середовища дає можливість об'єднати різні елементи в єдиний комплекс, а також створити загальну концепцію архітектурного середовища.

У свою чергу, аналіз народних промислів дозволяє використовувати у зашифрованих символах певний код нації.

Відродження традиційних культурних образів українського народу в сучасному мистецтві формує свідомість наступних поколінь та надає архітектурному середовищу національного колориту (рис. 7).

На жаль, через повномасштабну війну багато об'єктів культурної спадщини України зазнали руйнувань. «Знищення української культури є ключовим елементом російської агресії», – зазначає сучасний

американський письменник та сценарист Дейв Еггерс.



Рис. 7. Образ «Берегині» на фасаді сучасної багатоповерхівки (мезорівень)

За дослідженнями О. В. Харлана, від початку повномасштабного вторгнення (на період виходу статті) зафіксовано інформацію про 530 епізодів воєнних злочинів росії проти української культурної спадщини [12].



Рис. 8. Арт-об'єкт : мурал «Привид Києва» на Подолі (мезорівень)

На сьогодні, за інформацією Міністерства культури та інформаційної політики України, 1 046 пам'яток культурної спадщини постраждали через російську агресію в Україні [15]. За дослідженнями П. М. Санькова та співавторів (2023), післявоєнне архітектурне середовище повинне увіковічувати пам'ять війни, а також загиблих та постраждалих у бойових діях людей [6]. Отримані від війни переживання знаходять своє відображення у нових витворах мистецтва, що вдало вписуються у сучасне архітектурне середовище, надаючи йому відповідного символізму (рис. 8).

Висновки.

1. Архітектурне середовище світу – це не лише частина створеного та організованого людиною об'ємно-планувального рішення, призначеного для

забезпечення життєдіяльності суспільства, а й складна система знаків та символів, яка розкриває світогляд різних культур та епох.

2. Аналіз та порівняння архітектурних об'єктів із різних куточків світу дає можливість зрозуміти їх символічне значення.

3. Символи в архітектурному середовищі дозволяють передавати ідеї, концепції та поняття без словникового опису; надають архітектурним об'єктам унікальності та запам'ятовуваності; створюють зв'язок між архітектурою, історією, національною культурою та традиціями, а також особливу емоційну атмосферу архітектурного середовища.

4. Відомі архітектурні об'єкти та визначні місця України, такі як: Софійський

собор, Хотинська фортеця, Личаківський цвинтар, Будинок з химерами та Майдан Незалежності, – це не лише пам'ятки історії та культури, а й символи, які розкривають глибинний сенс українського буття.

5. Відродження та впровадження традиційних культурних образів українського народу в сучасному мистецтві відкриває великі перспективи збереження української ідентичності для майбутніх поколінь та надає символізму архітектурному середовищу.

У подальших дослідженнях планується вивчити перспективи використання символізму у повоєнному архітектурному середовищі України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гнатюк Л. Р. Роль мистецтва та символу у формуванні сакрального простору. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування : наук.-техн. зб.* Київ : КНУБА, 2020. Вип. 58. С. 32–47.
2. Культура XIX–XX ст. : символізм, імпресіонізм та постімпресіонізм. URL: <https://osvita.ua/vnz/reports/culture/10549/> (станом на 10.12.2023 р.).
3. Марковський А. І. Арка як символ тріумфу пануючої ідеології в архітектурі Києва 1930–1950-х рр. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*. 2020. № 57. С. 379–393. URL: <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2020.57.379-393>
4. Михалевич В. В. Храмова символіка в середньовічній європейській архітектурі. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Архітектура*. 2019. № 1. С. 13–19.
5. Остащук І. Б. Рослинний символізм в українському храмовому мистецтві. *Zeszyt naukowy prac ukraiноznawczych*. 2020. 169 с.
6. Саньков П. М., Макаренко Є. Є., Палагіна Л. П., Капленко Д. Д., Макаренко М. Є. Вплив війни на сучасне архітектурне середовище. *Development trends and improvement of old methods : the 13th International scientific and practical conference (December 12–15, 2023) Warsaw, Poland. International Science Group*. 2023. С. 53–61.
7. Символізм, вікіпедія. URL: <http://surl.li/svekx> (станом на 10.12.2023 р.).
8. Символізм у середньовічній архітектурі. URL: <https://livrezon.com/publication/priemy-simvolizma-v-srednevekovoi-arhitekture> (станом на 10.12.2023 р.).
9. Сторожук С. Символіка та особливості художнього стилю Європи від середини XIII ст. – до кінця XVIII ст. *Травневі студії : історія, політологія, міжнародні відносини*. 2023. С. 262–264.
10. Тимовчак І. Національна символіка, як елемент ідентичності держави в архітектурі дипломатичних представництв. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*. 2021. № 59. С. 316–326.
11. Хайдуков В. О. Семіотичний підхід у архітектурі центричних хрестоподібних православних храмів. *Архітектурний вісник КНУБА*. 2023. №№ 26–27. С. 136–149. URL: <https://doi.org/10.32347/2519-8661.2023.26-27.136-149>
12. Харлан О. В. Втрати культурної спадщини України в ході повномасштабної війни : попередні дані до мартирологу пам'яток. *50-ти річчя Всесвітньої спадщини : уроки минулого, виклики сьогодення та перспективи: зб. тез та матер. конф.* Чернівці : ЧНУ, 2022. С. 7–9. URL: <http://surl.li/rqjlg>
13. Харченко К. С., Краснюк А. В. Ландшафтно-екологічні основи гуманізації архітектурно-містобудівної інфраструктури міського середовища. *Український журнал будівництва та архітектури*. 2022. № 3. С. 102–110.
14. Хома Н. М. Архітектурний символізм: політика, виражена у камені. *Науковий часопис Національного педагогічного університету імені М. П. Драгоманова. Серія 22 : Політичні науки та методика викладання соціально-політичних дисциплін : зб. наук. пр.* Київ, 2015. Вип. 18. С. 92–97. URL: <http://enpuir.npu.edu.ua/handle/123456789/22554>
15. Через російську агресію в Україні постраждали понад тисячу пам'яток культурної спадщини. URL: <http://surl.li/sveia> (станом на 08.04.2024 р.).

REFERENCES

1. Hnatiuk L.R. *Rol mystetstva ta symvolu u formuvanni sakralnoho prostoru* [The role of art and symbols in the formation of sacred space]. *Suchasni problemy arkhitektury ta mistobuduvannia : naukovo-tekhnichnyi zbirnyk* [Modern problems of architecture and urban planning : scient. and tech. coll.]. Kyiv : KNUBA Publ., 2020, no. 58, pp. 32–47. (in Ukrainian).
2. *Kultura XIX–XX st. : symvolizm, impresionizm ta postimpresionizm* [Culture of the 19th and 20th centuries : symbolism, impressionism and post-impressionism]. URL: <https://osvita.ua/vnz/reports/culture/10549/10.12.2023> (as of 10.12.2023). (in Ukrainian).
3. Markovskiy A.I. *Arka yak symvol triumfu panuiuchoi ideologii v arkhitekturi Kyieva 1930–1950-kh rr.* [The arch as a symbol of the triumph of the ruling ideology in the architecture of Kyiv in the 1930s–1950s]. *Suchasni problemy Arkhitektury ta Mistobuduvannia* [Contemporary Problems of Architecture and Urban Planning]. 2020, no. 57, pp. 379–393. URL: <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2020.57.379-393>. (in Ukrainian).
4. Mykhalevych V.V. *Khramova symvolika v serednovichnii yevropeiskii arkhitekturi* [Temple symbolism in medieval European architecture]. *Visnyk Natsionalnoho universytetu “Lvivska politekhnika”. Arkhitektura* [Bulletin of the Lviv Polytechnic National University. Architecture]. 2019, no. 1, pp. 13–19. (in Ukrainian).
5. Ostaschuk I. B. *Roslynnyi symvolizm v ukrainskomu khramovomu mystetstvi* [Plant symbolism in Ukrainian temple art]. *Zeszyt naukowy prac ukrainoznawczych*. 2020, 169 p. (in Ukrainian).
6. Sankov P.M., Makarenko Ye.Ye., Palahina L.P., Kaplenko D.D. and Makarenko M.Ye. *Vplyv viiny na suchasne arkhitekturne seredovyshche* [The impact of war on the modern architectural environment]. *Development Trends and Improvement of Old Methods : the 13th International scient. and pract. conf.* December 12–15, 2023, Warsaw, Poland, International Science Group, 2023, pp. 53–61. (in Ukrainian).
7. *Symvolizm, vikipediia* [Symbolism, Wikipedia]. URL: http://surl.li/svekx_10.12.2023 (as of 10.12.2023). (in Ukrainian).
8. *Symvolizm u serednovichnii arkhitekturi* [Symbolism in medieval architecture]. URL: <https://livezon.com/publication/priemy-simvolizma-v-srednevekovoi-arhitekture> (as of 10.12.2023). (in Ukrainian).
9. Storozhuk S. *Symvolika ta osoblyvosti khudozhnogo stylu Yevropy vid seredyny XIII st. do kintsia XVIII st.* [Symbolism and peculiarities of the artistic style of Europe from the middle of the 13th century until the end of the 18th ct.]. *Travnevi studii : istoriia, politolohiia, mizhnarodni vidnosyny* [May Studies : History, Political Science, International Relations]. 2023, pp. 262–264. (in Ukrainian).
10. Tymovchak I. *Natsionalna symvolika, yak element identychnosti derzhavy v arkhitekturi dyplomatychnykh predstavnytstv* [National symbols as an element of state identity in the architecture of diplomatic missions]. *Suchasni problemy arkhitektury ta mistobuduvannia* [Contemporary Problems of Architecture and Urban Planning]. 2021, no. 59, pp. 316–326. (in Ukrainian).
11. Khaidukov V.O. *Semiotychnyi pidkhid u arkhitekturi tsentrychnykh khrestopodibnykh pravoslavnykh khramiv* [Semiotic approach in the architecture of centric cruciform Orthodox churches]. *Arkhitekturnyi visnyk KNUBA* [KNUCEA Architectural Bulletin]. 2023, no. 26–27, pp. 136–149. URL: <https://doi.org/10.32347/2519-8661.2023.26-27.136-149> (in Ukrainian).
12. Kharlan O.V. *Vtraty kulturnoi spadshchyny Ukrainy v khodi povnomasshtabnoi viiny: poperedni dani do martyrolohu pamiatok* [Losses of the cultural heritage of Ukraine during the full-scale war : preliminary data for the martyrology of monuments]. *50-ty richchia Vsesvitnoi spadshchyny: uroky mynuloho, vyklyky sohodennia ta perspektyvy : zbirnyk tez ta materialiv konferentsii* [50 years of World Heritage : Lessons from the Past, Challenges for the Present and Prospects : coll. of theses and mater. of the conf.]. Chernivtsi : ChNU Publ., 2022, pp. 7–9. URL: <http://surl.li/rqjlg> (in Ukrainian).
13. Kharchenko K.S. and Krasniuk A.V. *Landshaftno-ekolohichni osnovy humanizatsii arkhitekturno-mistobudivnoi infrastruktury miskoho seredovyshcha* [Landscape and ecological foundations of humanization of the architectural and urban infrastructure of the urban environment]. *Ukrainskyi zhurnal budivnytstva ta arkhitektury* [Ukrainian Journal of Civil Engineering and Architecture]. 2022, no. 3, pp. 102–110. (in Ukrainian).
14. Khoma N.M. *Arkhitekturnyi symvolizm : polityka, vyrazhena u kameni* [Architectural Symbolism : Politics Expressed in Stone]. *Naukovyi chasopys Natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni M.P. Drahomanova. Seriiia 22 : Politychni nauky ta metodyka vykladannia sotsialno-politychnykh dystsyplin : zb. nauk. prats* [Scientific Journal of the National Pedagogical University named after M.P. Drahomanov. Series 22 : Political Sciences and Methods of Teaching Socio-Political Disciplines : coll. of sc. works]. Kyiv, 2015, no. 18, pp. 92–97. URL: <http://enpuir.npu.edu.ua/handle/123456789/22554>. (in Ukrainian).
15. *Cherez rosiisku ahresiia v Ukraini postrazhdaly ponad tysiachu pamiatok kulturnoi spadshchyny* [More than a thousand monuments of cultural heritage were damaged in Ukraine due to Russian aggression]. URL: <http://surl.li/sveia> (as of 08.04.2024). (in Ukrainian).

Надійшла до редакції: 28.08.2024.

УДК 331.101.1

DOI: 10.30838/UJCEA.2312.301024.160.1105

ЕРГОНОМІЧНІСТЬ ЯК ФАКТОР ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС РОБОТИ БУДІВЕЛЬНИХ МАШИН НА ПРИКЛАДІ ЕКСКАВАТОРІВ

ШАЛОМОВ В. А.^{1*}, *канд. техн. наук, доц.*,
БЄЛІКОВ А. С.², *докт. техн. наук, проф.*,
ЖИРКОВ В. Ю.³, *асп.*,
ХРЯП П. Д.⁴, *асп.*,
ШАЛОМОВ О. В.⁵, *маг.*

^{1*} Кафедра охорони праці, цивільної та техногенної безпеки, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-34-73, e-mail: shalomov.volodymyr@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-6890-932X

² Кафедра охорони праці, цивільної та техногенної безпеки, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-34-73, e-mail: belikov@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-5822-9682

³ Кафедра охорони праці, цивільної та техногенної безпеки, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-34-73, e-mail: zhirkov.viacheslav@365.pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0009-0002-2819-2094

⁴ Кафедра охорони праці, цивільної та техногенної безпеки, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-34-73, e-mail: khriap.pavlo@365.pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0009-0003-2222-5614

⁵ Кафедра охорони праці, цивільної та техногенної безпеки, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-34-73, e-mail: 18054.shalomov@365.pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-4500-5767

Анотація. *Постановка проблеми.* Для створення безпечних умов праці машиністів екскаваторної техніки важливі питання ефективного керування ергономічними показниками якості, підвищення надійності екскаваторів, поліпшення санітарно-гігієнічних умов і комфорту праці операторів. Сукупність ергономічних показників системи «оператор–екскаватор», до яких належать керованість, заселеність, обслуговуваність, освоюваність і технологічність, і визначає поняття ергономічності (критеріальна категорія менеджменту якості, яка одночасно розглядається як об'єкт керування). Зміни, що відбуваються в будівництві, впливають на ефективність функціонування системи «оператор–екскаватор» з урахуванням конкретних виробничо-технічних, природно-кліматичних і соціально-економічних умов. Переозброєння будівельних майданчиків екскаваторами нового покоління, оснащеними сучасними керуючими, комп'ютерними інформаційно-діагностичними системами, апаратними та програмними засобами передавання, оброблення й аналізу даних, не лише забезпечують підвищення ефективності будівельних робіт, а й змінюють характер взаємодії людини і машини. **Мета дослідження** – забезпечення безпеки під час роботи будівельних машин (екскаваторів) з урахуванням критеріїв ергономічності. Це актуальне наукове завдання, виконання якого дозволить поліпшити умови праці та підвищити ефективність роботи екскаваторів. **Висновок.** Дослідження показали, що ергономічна складова «людина – машина – середовище» на прикладі вдосконалення екскаваторів дозволяє підвищити безпеку машин та поліпшити умови праці машиністів будівельних машин. Використання математичного апарату теорії нечітких множин для оцінювання та управління ергономічністю екскаваторів зумовлене характером і специфікою функціонування елементів системи «оператор – екскаватор». Інформація про елементи системи може бути представлена суб'єктивними думками або судженнями, неточними даними або похибками у вимірах і розрахунках параметрів. Отже, необхідно використовувати математичний інструментарій, що враховує кількісну і якісну інформацію, подану в лінгвістичній формі.

Ключові слова: *ергономічність; система «людина – машина – середовище»; екскаватори; безпечні умови; організація робочого місця; охорона праці*

ERGONOMICS AS A FACTOR IN ENSURING SAFETY DURING THE OPERATION OF CONSTRUCTION MACHINES ON THE EXAMPLE OF EXCAVATORS

SHALOMOV V.A.^{1*}, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*,
BIELIKOV A.S.², *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,
ZHYZKOV V.Yu.³, *Postgrad. Stud.*,
KHRIAP P.D.⁴, *Postgrad. Stud.*,

SHALOMOV O.V.⁵, *Master in Eng.*

^{1*} Department of Labor Protection, Civil and Technogenic Safety, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Architect Oleh Petrov Str., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-57, e-mail: shalomov.volodymyr@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-6890-932X

² Department of Labor Protection, Civil and Technogenic Safety, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Architect Oleh Petrov Str., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-57, e-mail: belikov@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-5822-9682

³ Department of Labor Protection, Civil and Technogenic Safety, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Architect Oleh Petrov Str., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-57, e-mail: zhirkov.viacheslav@365.pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0009-0002-2819-2094

⁴ Department of Labor Protection, Civil and Technogenic Safety, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Architect Oleh Petrov Str., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-57, e-mail: khriap.pavlo@365.pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0009-0003-2222-5614

⁵ Department of Labor Protection, Civil and Technogenic Safety, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Architect Oleh Petrov Str., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-57, e-mail: 18054.shalomov@365.pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002- 4500-5767

Abstract. Problem statement. To improve the safe working conditions of excavator operators, it is important to effectively manage ergonomic quality indicators, increase the reliability of excavators, and improve the sanitary and hygienic conditions and comfort of operators. The set of ergonomic indicators of the operator–excavator system, including controllability, occupancy, serviceability, masterability and manufacturability, defines the concept of ergonomics (a criterion category of quality management that is also considered as an object of management). Changes in construction affect the efficiency of the operator-excavator system, taking into account specific production and technical, natural and climatic, and socio-economic conditions. The re-equipment of construction sites with new generation excavators equipped with modern control, computer information and diagnostic systems, hardware and software for data transmission, processing and analysis not only improves the efficiency of construction work but also changes the safe nature of human-machine interaction. **The purpose of the article.** Ensuring safety during the operation of construction machines (excavators), taking into account ergonomics criteria, which is an urgent scientific task, the solution of which will improve working conditions and increase the efficiency of excavators. **Conclusion.** The conducted research has shown that the ergonomic component “man – machine – environment” on the example of improving excavators allows to increase the safety of machines and improve the working conditions of construction machine operators. The use of the mathematical apparatus of fuzzy set theory to evaluate and manage the ergonomics of excavators is due to the nature and specificity of the functioning of the elements of the “operator–excavator” system. Information about the system elements can be represented by subjective opinions or judgements, inaccurate data or errors in measurements and parameter calculations. Therefore, it is necessary to use mathematical tools that take into account quantitative and qualitative information presented in linguistic form.

Keywords: ergonomics; human–machine–environment system; excavators; safe conditions; workplace organisation; labour protection

Постановка проблеми. Будівельна галузь – одна з найважливіших серед галузей народного господарства, від якої залежить ефективність функціонування усієї системи господарювання України.

Для поліпшення безпечних умов праці машиністів екскаваторної техніки важливими стали питання ефективного керування ергономічними показниками якості, підвищення надійності екскаваторів, санітарно-гігієнічних умов і комфорту праці операторів.

Сукупність ергономічних показників системи «оператор – екскаватор», до яких належать керованість, заселеність, обслуговуваність, освоюваність і технологічність, і визначає поняття ергономічності (критеріальна категорія менеджменту якості, яка одночасно розглядається як об'єкт керування).

Зміни, що відбуваються в будівництві, впливають на ефективність функціонування системи «оператор – екскаватор» з урахуванням конкретних виробничо-технічних, природно-кліматичних і соціально-економічних умов. Переозброєння будівельних майданчиків екскаваторами нового покоління, оснащеними сучасними керуючими, комп'ютерними інформаційно-діагностичними системами, апаратними та програмними засобами передавання, оброблення й аналізу даних, не лише забезпечують підвищення ефективності будівельних робіт, а й змінюють безпечний характер взаємодії людини і машини.

Отже, удосконалення будівельних екскаваторів за критерієм ергономічності стає актуальною науковою проблемою, розв'язання якої дасть змогу підвищити ефективність їх функціонування, а найголовніше – поліпшити умови праці

екскаваторників.

Аналіз публікацій. З досвіду провідних зарубіжних і вітчизняних підприємств установлено, що поліпшення ергономічних і естетичних параметрів будівельної техніки дедалі більше стає основним напрямом зростання її конкурентоспроможності і поліпшення умов праці машиністів екскаваторів.

Якість будь-якого промислового виробу характеризується трьома складовими: технічними, естетичними та ергономічними показниками.

Дослідженнями науковців [1–5] установлено, що є особливості в оцінюванні через труднощі порівняльного врахування складних умов експлуатації та різноманіття специфічних конструкцій будівельних машин.

У зв'язку зі складністю врахування великої кількості чинників умов експлуатації, що постійно змінюються, різноманіттям будівельних машин, невеликою їх серійністю і швидкою зміною зразків, методики оцінювання якості устаткування потребують удосконалення та адаптації до сучасних умов будівництва.

У дослідженнях [4; 5] розроблено методику безекспертного оцінювання якості будівельних машин. Дано трактування поняття функціонального критерію машин і сформульовано принципи керування якістю машин на різних стадіях життєвого циклу: під час проєктування, виготовлення та експлуатації.

Результати досліджень. Використання математичного апарату теорії нечітких множин для оцінювання та управління ергономічністю екскаваторів зумовлюється характером і специфікою функціонування елементів системи «оператор – екскаватор». Інформація про елементи системи може бути представлена суб'єктивними думками або судженнями, неточними даними або похибками у вимірах і розрахунках параметрів. Тому виникає необхідність застосування математичного інструментарію, що враховує кількісну і якісну інформацію, подану в лінгвістичній формі [6; 7].

Категорія «якість продукції» поставила на порядок денний проблему ролі та місця

людського фактора в сучасному менеджменті якості, яку формулюють як керування ергономічним рівнем якості (ергономічністю) продукції (УЕРЯП) [4].

Відповідно до ДСТУ EN 60447:2022 сукупність ергономічних властивостей системи «людина – машина» визначає поняття ергономічності СЛМ.

УЕРЯП – системно структурований процес, що базується на сукупності взаємопов'язаних наукових положень, а також методів їх реалізації, спрямованих на досягнення в рамках менеджменту якості необхідної ергономічності продукції за рахунок зручності та безпечності умов, засобів і продукту функціональної діяльності, а також створення умов для розвитку і самореалізації суб'єктів якості [3].

Результативність УЕРЯП визначається ступенем досягнення необхідної ергономічності продукції як матеріального середовища виробництва і споживання, засобу продуктивної життєдіяльності та носія якості життя (рис. 1).

Завдяки використанню поняття «ергономічність» через відповідні ергономічні вимоги можна по-новому розглядати якість промислової продукції через її споживчі властивості.

Ергономічність у своїй сукупності – це цілісність низки ергономічних показників: керованість, обслуговуваність, освоюваність і населеність [8].

Керованість, обслуговуваність і освоюваність описують властивості системи, за яких вона органічно включається до структури і процесу діяльності людини чи групи людей з керування, обслуговування і освоєння. Відбувається це у тих випадках, коли в проєкт системи закладаються рішення, що створюють найкращі умови для зручного, ефективного й безпечного виконання зазначених видів діяльності.

Життєздатність належить до умов функціонування системи, за яких зберігається здоров'я працівників, підтримуються нормальна динаміка їх працездатності та хороше самопочуття. Одним з ефективних шляхів створення таких умов стало усунення (ослаблення) несприятливих чинників робочого середовища (вібрація, шум, загазованість, випромінювання тощо) у самому джерелі їх утворення в системах, машинах і обладнанні.

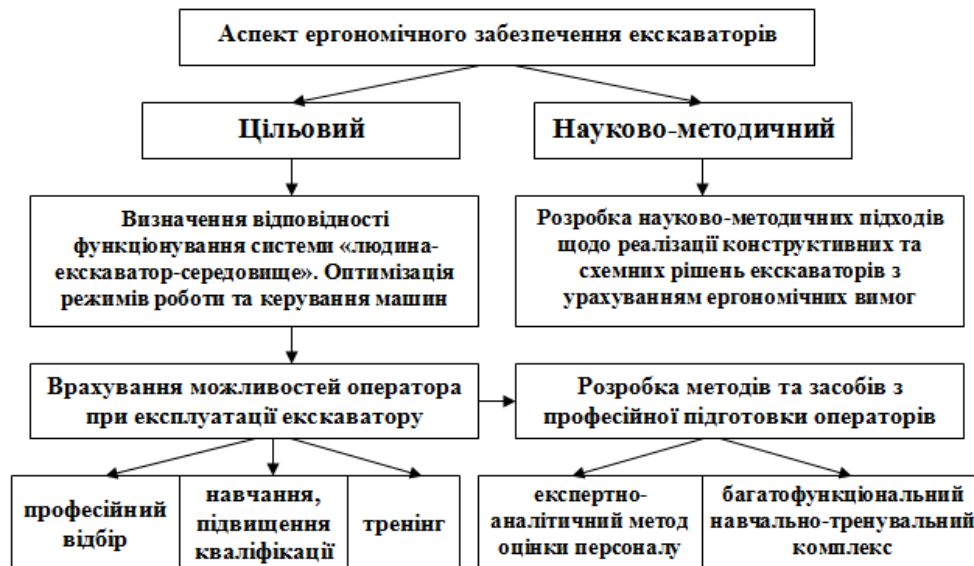


Рис. 1. Аспекти ергономічного забезпечення будівельних екскаваторів

Керованість визначає такі групові показники:

- відповідність розподілу функцій між людиною (групою людей) і машиною оптимальної структури їх взаємодії для досягнення поставлених цілей із забезпеченням провідної ролі людини;

- відповідність конструкції машини та її окремих елементів й організації робочого місця оптимальній психофізіологічній структурі та процесу діяльності людини в нормальних і аварійних умовах;

- відповідність змісту заданої машиною діяльності з керування оптимальному рівню складності та різноманітності дій людини;

- відповідність заданої машиною напруженості діяльності мінімальній напруженості, за якої досягається ефективність керування;

- відповідність заданих машиною вимог до якості діяльності з керування оптимальним швидкісним, точнісним і надійнісним можливостям людини-оператора;

- відповідність темпів і ритмів трудових процесів, які задаються будівельною машиною, оптимальній часовій структурі працюючих людей.

Обслуговуваність визначається відповідністю конструкції екскаватора (або окремих його елементів) оптимальній психофізіологічній структурі та процесу діяльності з його експлуатації, обслуговування та ремонту.

Освоюваність визначає:

- закладені в будівельній машині та експлуатаційній документації можливості якнайшвидшого її освоєння на основі набуття необхідних знань, умінь і навичок керування та обслуговування;

- задані машиною вимоги до рівня розвитку професійно значущих психофізіологічних і психологічних функцій машиніста для діяльності як у нормальних, так і в аварійних умовах;

- задані машиною вимоги до характеру і ступеня групової взаємодії під час керування нею;

- закладені в машині можливості для розвитку і вдосконалення професійно важливих якостей людини як користувача.

Життєздатність визначає:

- відповідність умов функціонування будівельної машини біологічно оптимальним параметрам робочого середовища, що забезпечують людині нормальний розвиток, хороше здоров'я і високу працездатність;

- зменшення чи усунення шкідливих для природного середовища умов функціонування машини.

Особливості людини, її психічні, психофізіологічні та особистісні властивості вивчає ергономіка. Основна мета ергономіки – розроблення вискоєфективних систем «людина – машина – середовище».

В ергономіці розв'язують важливі питання зі створення нової та модернізації наявної техніки, полегшення й оздоровлення

умов праці, підвищення її ефективності та якості. Ергономікою визначено підхід до людини як особливої ланки, включеної в систему технічних пристроїв, машин, навколишнього середовища [8].

Відповідно до ДСТУ EN 60447:2022, ергономіка – наукова дисципліна, що вивчає взаємодію людини з виробничим середовищем; сферу діяльності, вид трудової діяльності, що використовує теорію оптимізації, її принципи, дані та методи для проєктування з метою забезпечення зручності та безпеки праці людини і підвищення продуктивності виробничої системи.

Вона належить до тих наук, які можна розрізняти за предметом і специфічним поєднанням методів, що застосовуються в них. Значною мірою ергономіка застосовує методи досліджень, що склалися в техніці, психології, фізіології та гігієні праці. Проблема полягає в координації різних методичних прийомів під час розв'язання тієї чи іншої ергономічної задачі, у подальшому узагальненні та синтезуванні отриманих за їх допомогою результатів. У

низці випадків цей процес зумовлює створення нових методів досліджень в ергономіці, відмінних від методів тих дисциплін, з яких вона виникла [9].

Ергономічна складова визначає відповідність показників об'єкта ергономічним вимогам та ергономічним стандартам через установлення ергономічного рівня якості оцінюваного об'єкта, тобто ступеня реалізації ергономічних вимог.

Ергономічні вимоги до системи «людина – машина – середовище» та її елементів являють собою нормовані характеристики процесів, засобів і умов діяльності, реалізація яких забезпечує досягнення заданих рівнів ергономічних властивостей. Згідно з ДСТУ EN 60447:2022, ергономічні вимоги задають до організації системи ЛМС, до організації діяльності операторів, до технічних засобів діяльності та до системи підтримки працездатності операторів.

У формулюванні ергономічних вимог має місце така логічна послідовність (рис. 2).



Рис. 2. Послідовність формулювання ергономічних вимог

Комплекс ергономічних вимог ієрархічно стратифікований [11]:

- загальні вимоги вищих рівнів, адресовані до цілісних характеристик функціональної діяльності (надійність, ефективність, точність тощо) суб'єкта в ергономічній системі;

- приватні (предметні) вимоги нижчих рівнів системної ієрархії, які класифікують відповідно до видів функціональної сполученості користувача й засобу діяльності та які пред'являють до ергономічно значущих параметрів людино-технічних систем.

Ергономічні вимоги сприяють:

- раціональному розподілу функцій у системі «людина – машина – середовище» (ЛМС);

- раціональній організації робочого

місця на основі врахування в конструкції робочих характеристик і властивостей людини;

- відповідності технічних засобів можливостям людини з приймання й переробки інформації та здійснення керівних дій;

- оптимальному для життєдіяльності та працездатності людини виробничому середовищу.

Висновки.

Дослідження показали, що ергономічна складова «людина – машина – середовище» на прикладі вдосконалення екскаваторів дозволяє підвищити безпеку машин та поліпшити умови праці машиністів будівельних машин.

Використання математичного апарату

теорії нечітких множин для оцінювання та управління ергономічністю екскаваторів зумовлене характером і специфікою функціонування елементів системи «оператор – екскаватор». Інформація про елементи системи може бути представлена

суб'єктивними думками або судженнями, неточними даними або похибками у вимірах і розрахунках параметрів. Отже, необхідно використовувати математичний інструментарій, що враховує кількісну і якісну інформацію, подану в лінгвістичній формі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Dul J., Bruder R., Buckle P., Carayon P., Falzon P., Marras W., Wilson J. & Doelen B. Strategy for human factors/ergonomics : developing the discipline and profession. *Ergonomics*. 2012. DOI:10.1080/001400139.2012.661087.
2. Lim S., Sivadas T., Mohd R. & Azrul G. A systematic approach of ergonomics assessment tool selection. 2019. DOI: 10.15405/epsbs.2020.12.05.77.
3. Choi K.-H., Kim D.-M., Cho M.-U., Park C.-W., Kim S.-Y., Kim M.-J., & Kong Y.-K. Application of AULA Risk Assessment Tool by Comparison with Other Ergonomic Risk Assessment Tools. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020. № 17 (18). Pp. 6479. DOI: 10.3390/ijerph17186479.
4. Lowe B. D., Dempsey P. G. & Jones E. M. Ergonomics assessment methods used by ergonomics professionals. *Applied Ergonomics*. 2019. № 81. Pp. 102882. DOI: 10.1016/j.apergo.2019.102882.
5. Joshi M. & Deshpande V. A systematic review of comparative studies on ergonomic assessment techniques. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 2019. № 74. Pp. 102865. DOI: 10.1016/j.ergon.2019.102865.
6. Желдак Т. А., Коряшкіна Л. С., Ус С. А. Нечіткі множини в системах управління та прийняття рішень : навч. посіб. Дніпро : НТУ «ДП», 2020. 387 с.
7. Гнатієнко Г. М., Снитюк В. Є. Експертні технології прийняття рішень. Київ : Маклаут, 2008. 444 с.
8. Беліков А. С., Шаломов В. А., Кульбач А. А. Ергономіка в будівництві : підруч., 2-ге вид. Дніпро : Журфонд, 2022. 219 с.
9. Hermans V & Peteghem J. The relation between OSH and ergonomics : a 'mother–daughter' or 'sister–sister' relation? *Applied Ergonomics*. 2006. № 37 (4). Pp. 451–459.
10. Leveson N. G. Engineering a safer world : Systems thinking applied to safety. MIT Press, Cambridge, MA. 2016. 560 p.
11. Kuok T. Abating Biomechanical Risks : a Comparative Review of Ergonomic Assessment Tools, 2020. DOI: 10.9734/JERR/2020/v17i317191.

REFERENCES

1. Dul J., Bruder R., Buckle P., Carayon P., Falzon P., Marras W., Wilson J. and Doelen B. Strategy for human factors/ergonomics : developing the discipline and profession. *Ergonomics*. 2012. DOI:10.1080/001400139.2012.661087.
2. Lim S., Sivadas T., Mohd R. and Azrul G. A systematic approach of ergonomics assessment tool selection. 2019. DOI: 10.15405/epsbs.2020.12.05.77.
3. Choi K.-H., Kim D.-M., Cho M.-U., Park C.-W., Kim S.-Y., Kim M.-J. and Kong Y.-K. Application of AULA Risk Assessment Tool by Comparison with Other Ergonomic Risk Assessment Tools. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020, no. 17 (18), pp. 6479. DOI: 10.3390/ijerph17186479.
4. Lowe B.D., Dempsey P.G. and Jones E.M. Ergonomics assessment methods used by ergonomics professionals. *Applied Ergonomics*. 2019, no. 81, pp. 102882. DOI: 10.1016/j.apergo.2019.102882.
5. Joshi M. and Deshpande V. A systematic review of comparative studies on ergonomic assessment techniques. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 2019, no. 74, pp. 102865. DOI: 10.1016/j.ergon.2019.102865.
6. Zheldak T.A., Koriashkina L.S. and Us S.A. *Nechitki mnozhyny v systemakh upravlinnia ta pryiniattia rishen* [Fuzzy sets in control and decision-making systems]. Dnipro : NTU “DP” Publ., 2020, 387 p. (in Ukrainian).
7. Hnatiienko H.M. and Snytiuk V.Ye. *Ekspertni tekhnolohii pryiniattia rishen* [Expert decision-making technologies]. Kyiv : Maklout Publ., 2008, 444 p. (in Ukrainian).
8. Bielikov A.S., Shalomov V.A. and Kulbach A.A. *Erhonomika v budivnytstvi* [Ergonomics in Construction]. Dnipro : Zhurfond Publ., 2022, 219 p. (in Ukrainian).
9. Hermans V. and Peteghem J. The relation between OSH and ergonomics : a 'mother–daughter' or 'sister–sister' relation? *Applied Ergonomics*. 2006, no. 37 (4), pp. 451–459.
10. Leveson N.G. Engineering a safer world : Systems thinking applied to safety. MIT Press, Cambridge, MA, 2016, 560 p.
11. Kuok T. Abating Biomechanical Risks : a Comparative Review of Ergonomic Assessment Tools, 2020. DOI: 10.9734/JERR/2020/v17i317191.

Надійшла до редакції: 30.08.2024.

Відповідальність за достовірність інформації, що міститься в друкованих матеріалах,
несуть автори.

Редколегія не завжди поділяє авторську точку зору.

Комп'ютерну верстку виконано в редакційно-видавничому відділі ННІ «ПДАБА».

Адреса редакції:

✉ вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Україна, м. Дніпро
кімната 501 (відповідальний секретар)

☎ +38 (050) 452-43-63

e-mail: mitomdnipro1997@gmail.com

Підписано до друку 05.11.2024 р. Формат 60×84 1/8.

Друк цифровий. Умовн. друк. арк. 10,00. Умовн. фарб.-відб. арк. 10,00.

Обл.-видавн. арк. 20,00. Наклад 50 прим. Зам. 211

Authors are responsible for the accuracy of the information
contained in the printed materials.

Editors do not always agree with the author's point of view.

Desktop publishing is performed in the Editorial Department of ESI “PSACEA”.

Editorial address:

✉ room 501 (Executive Secretary)

24-a, Architect Oleh Petrov Str., Dnipro, 49005, Ukraine

☎ +38 (050) 452-43-63

e-mail: mitomdnipro1997@gmail.com

Sent to press on 05 November 2024. Format 60×84 1/8.

Digital printing. Conventional quire 10,00. Conventional colour imprints 10,00.

Publisher's signatures 20,00. Number of copies 50. Order 211