

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

№ 1 (031)
січень – лютий 2026

Дніпро 2026

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

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

ЧЛЕНИ РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ:

А. С. Беліков, д-р техн. наук, ННІ ПДАБА, Дніпро. М. М. Біляєв, д-р техн. наук, Український державний університет науки і технологій (УДУНТ), Дніпро. В. І. Большаков, д-р техн. наук, ННІ ПДАБА, Дніпро. В. Є. Волкова, д-р техн. наук, Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро. В. М. Волчук, д-р техн. наук, ННІ ПДАБА, Дніпро. С. І. Губенко, д-р техн. наук, ННІ ПДАБА, Дніпро. Ю. О. Кірічек, д-р техн. наук, ННІ ПДАБА, Дніпро. Т. С. Кравчуновська, д-р техн. наук, ННІ 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, ННІ ПДАБА, Дніпро. Т. Д. Нікіфорова, д-р техн. наук, ННІ ПДАБА, Дніпро. В. І. Проскуряков, д-р арх., Національний університет «Львівська політехніка», Львів. В. Л. Седін, д-р техн. наук, ННІ ПДАБА, Дніпро. В. В. Товбич, д-р арх., Київський національний університет будівництва та архітектури, Київ. О. В. Харлан, к-т арх., ННІ 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 КВ № 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 № 7 від 25.02.2026.

Сайт видання <http://uaicea.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 МОЇСЕСЬКО
Редактор та коректор Олена ТИМОШЕНКО

**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

№ 1 (031)
January – February 2026

Dnipro 2026

EDITORIAL STAFF :

<i>Chief Editor</i>	Mykola SAVYTSKYI, Doctor of Engineering Science, <i>USUST, Dnipro</i>
<i>Deputy Chief Editor</i>	Vladyslav DANISHEVSKYI, Doctor of Engineering Science, <i>ESI PSACEA, Dnipro</i>
<i>Executive Secretary</i>	<i>Dnipro</i>
<i>Executive Editor</i>	Olena TYMOSHENKO, Candidate of Engineering Science, <i>ESI PSACEA, Dnipro</i> Olena TYMOSHENKO, Candidate of Engineering Science, <i>ESI PSACEA, Dnipro</i>

MEMBERS OF EDITORIAL STAFF :

A.S. Belikov, Doctor of Engineering Science, *ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture" (ESI PSACEA), Dnipro*. M.M. Biliaiev, Doctor of Engineering Science, *Ukrainian State University of Science and Technologies (USUST), Dnipro*. V.I. Bolshakov, Doctor of Engineering Science, *ESI PSACEA, Dnipro*. V.Yev. Volkova, Doctor of Engineering Science, *Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro*. V.M. Volchuk, Doctor of Engineering Science, *ESI PSACEA, Dnipro*. S.I. Gubenko, Doctor of Engineering Science, *PSACEA, Dnipro*. Yu.O. Kirichuk, Doctor of Engineering Science, *ESI PSACEA, Dnipro*. T.S. Kravchunovska, Doctor of Engineering Science, *ESI PSACEA, Dnipro*. Yu.I. Kryvoruchko, Doctor of Architecture, *National University "Lviv Polytechnic", Lviv*. O.O. Lapshyn, Doctor of Engineering Science, *Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih*. V.P. Myronenko, Doctor of Architecture, *O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv*. M.M. Nalysko, Doctor of Engineering Science, *ESI PSACEA, Dnipro*. T.D. Nikiforova, Doctor of Engineering Science, *ESI PSACEA, Dnipro*. V.I. Proskuriakov, Doctor of Architecture, *National University "Lviv Polytechnic", Lviv*. V.L. Siedin, Doctor of Engineering Science, *ESI PSACEA, Dnipro*. V.V. Tovbych, Doctor of Architecture, *Kyiv National University of Civil Engineering and Architecture, Kyiv*. O.V. Kharlan, Candidate of Architecture, *ESI 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. 7 from 25.02.2026
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)

Art & Technical Editor Serhii MOISEIENKO
Editor & Proofreader Olena TYMOSHENKO

У ЦЬОМУ НОМЕРІ

Балакін К. В., Філіп'єв Є. О. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ТРИВАЛІСТЬ РЕВІТАЛІЗАЦІЇ ПРОМИСЛОВИХ БУДІВЕЛЬ.....	7
Білополий В. В., Складановська М. Г. НАВЧАЛЬНА МОТИВАЦІЯ В ОСВІТНЬОМУ ПРОЦЕСІ.....	15
Бородін М. О., Ткач Т. В., Ільєв І. М., Ракаєв О. М. ПОСІДНАННЯ ВІМ ТА ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В АВТОМАТИЗАЦІЇ СТВОРЕННЯ КАЛЕНДАРНИХ ПЛАНІВ БУДІВНИЦТВА.....	21
Воробйов В. В., Шило О. С. КІЛЬКІСНІ І ЯКІСНІ ОСОБЛИВОСТІ ВЗАЄМОДІЇ АРХІТЕКТУРНИХ ТА МІСТОБУДІВНИХ АСПЕКТІВ ТРАНСФОРМАЦІЇ СЕЛІТЕБНИХ ТЕРИТОРІЙ МІСТА.....	29
Смолін Д. О., Шинкевич О. І. ДИСКРЕТНО-АРМОВАНІ РЕМОНТНІ РОЗЧИНИ.....	48
Давидов І. І., Чабан В. П., Ковтун-Горбачова Т. А., Ковтун К. А. АНАЛІЗ ВПЛИВУ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК НА РОЗВИТОК ПРОГРЕСУЮЧОГО ОБВАЛЕННЯ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ.....	55
Кожемякіна І. Ф., Сахарчук С. В., Заварикін С. Л. НОВІТНІ ПІДХОДИ ТА МЕТОДИ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЄКТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙ (огляд).....	63
Нікіфорова Т. Д., Вертелецький О. О. СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ СИСТЕМИ ЗАХИСНИХ СПОРУД ЦИВІЛЬНОГО НАСЕЛЕННЯ В УКРАЇНІ.....	74
Ольховик С. М., Шонія І. Д. ФАКТОРНИЙ АНАЛІЗ ВАРТОСТІ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ РЕКОНСТРУКЦІЇ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ: УКРАЇНСЬКИЙ ТА ЄВРОПЕЙСЬКИЙ ДОСВІД.....	86
Разумова О. В. БУДІВНИЦТВО МАЙБУТНЬОГО: ЦИРКУЛЯРНА ЕКОНОМІКА ЯК ОСНОВА СТАЛОГО РОЗВИТКУ.....	94
Русакова Т. І., Войтенко Ю. В., Долженкова О. В., Золотько О. В., Левицька О. Г. КОМПЛЕКСНИЙ СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ СЕЗОННОЇ ДИНАМІКИ ПОЖЕЖ З УРАХУВАННЯМ КЛІМАТИЧНИХ ЧИННИКІВ.....	102
Савченко С. В., Прокоф'єва К. А., Решетілова О. М. ПРОБЛЕМИ РОБОТИ ЗІ СЛУЖБОВОЮ ІНФОРМАЦІЄЮ В ДЕРЖАВНОМУ ДІЛОВОДСТВІ УКРАЇНИ : ІНСТИТУЦІЙНО-ПРАВОВИЙ АНАЛІЗ.....	113
Слащов І. М., Беліков А. С., Кривенко Є. В., Коротаєв В. М., Дігтяр К. В. ОБґРУНТУВАННЯ ФОРМ І РОЗМІРІВ ЗОН ІНЕКЦІЙНОГО ЗМІЦНЕННЯ В УМОВАХ АСИМЕТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА ПІДЗЕМНІ СПОРУДИ.....	120
Смадич І. П. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ВНУТРІШНІХ ДВОРІВ БАГАТОКВАРТИРНОЇ ЖИТЛОВОЇ ЗАБУДОВИ НА ОСНОВІ ПОВЕДІНКОВО-ПРОСТОРОВИХ ПОКАЗНИКІВ.....	133
Соколан Ю. С. ІНСТРУМЕНТАРІЙ ДЛЯ ПЛАНУВАННЯ НАЛЕЖНИХ УМОВ ПРАЦІ В ПРИМІЩЕННЯХ З ЕЛЕКТРОННО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНИМИ МАШИНАМИ.....	143
Шехоркіна С. Є., Захаров М. О. КОНСТРУКТИВНЕ РІШЕННЯ ДЕРЕВОЗАЛІЗОБЕТОННОЇ СТИНОВОЇ ПАНЕЛІ ДЛЯ ЕКОЛОГІЧНИХ БУДІВЕЛЬ.....	152
Сєдін В. Л., Ульянов В. Ю., Ковба В. В., Загільський В. А., Горлач С. М., Сімонов Ю. Ю. ОСОБЛИВОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ ТА ВИКОНАННЯ РАДОНОМЕТРІЇ ДЛЯ СЕЙСМОТЕКТОНІЧНИХ ЦІЛЕЙ НА МАЙДАНЧИКАХ БУДІВНИЦТВА ТРАНСПОРТНОЇ ТА ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ В ЗОНІ ВІЧНОЇ МЕРЗЛОТИ.....	159

CONTENT

Balakin K.V., Filipiev Ye.O. RESEARCH ON THE IMPACT OF ORGANISATIONAL AND TECHNOLOGICAL FACTORS ON THE DURATION OF INDUSTRIAL BUILDING REVITALISATION.....	7
Bilopoly V.V., Skladanovska M. G. LEARNING MOTIVATION IN THE EDUCATIONAL PROCESS.....	15
Borodin M.O., Tkach T.V., Iliev I.M., Rakaiev O.M. COMBINING BIM AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN AUTOMATING THE CREATION OF CONSTRUCTION SCHEDULES.....	21
Vorobiov V.V., Shylo O.S. QUANTITATIVE AND QUALITATIVE FEATURES OF THE INTERACTION OF ARCHITECTURAL AND URBAN PLANNING ASPECTS OF THE TRANSFORMATION OF RESIDENTIAL TERRITORIES OF THE CITY.....	29
Smolin D.O., Shinkevech O.I. REPAIR MORTARS REINFORCED WITH DISCRETE FIBERS.....	48
Davydov I.I., Chaban V.P., Kovtun-Horbachova T.A., Kovtun K.A. ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF DYNAMIC CHARACTERISTICS ON THE DEVELOPMENT OF PROGRESSIVE COLLAPSE OF BUILDING STRUCTURES.....	55
Kozhemiakina I.F., Sakharchuk S.V., Zavarykin S.L. LATEST APPROACHES AND METHODS OF OPTIMAL STRUCTURAL DESIGN (overview).....	63
Nikiforova T.D., Verteletskiy O.O. CURRENT STATE AND DEVELOPMENT PROSPECTS OF THE CIVILIAN PROTECTIVE STRUCTURES SYSTEM IN UKRAINE.....	74
Olkhovyyk S.M., Shoniia I.D. FACTOR ANALYSIS OF THE COST AND EFFECTIVENESS OF RESIDENTIAL BUILDING RECONSTRUCTION : UKRAINIAN AND EUROPEAN EXPERIENCE.....	86
Razumova O.V. BUILDING THE FUTURE : THE CIRCULAR ECONOMY AS A FOUNDATION FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT.....	94
Rusakova T.I., Voytenko J.V., Dolzhenkova O.V., Zolotko O.V., Levytska O.H. COMPREHENSIVE STATISTICAL ANALYSIS AND FORECASTING OF SEASONAL FIRE DYNAMICS CONSIDERING CLIMATIC FACTORS.....	102
Savchenko S.V., Prokofieva K.A., Reshetilova O.M. PROBLEMS OF WORKING WITH PROPRIETARY INFORMATION IN PUBLIC RECORDS MANAGEMENT IN UKRAINE: INSTITUTIONAL AND LEGAL ANALYSIS.....	113
Slashchov I.M., Bielikov A.S., Kryvenko Yev.V., Korotaiev V.M., Dihtiar K.V. JUSTIFICATION OF THE FORMS AND DIMENSIONS OF INJECTION HARDENING ZONES UNDER CONDITIONS OF ASYMMETRICAL LOADS ON UNDERGROUND STRUCTURES.....	120
Smadych I.P. ASSESSMENT OF THE FUNCTIONAL EFFICIENCY OF INNER COURTYARDS IN MULTI-APARTMENT RESIDENTIAL DEVELOPMENT BASED ON BEHAVIORAL-SPATIAL INDICATORS.....	133
Sokolan Yu.S. INSTRUMENT FOR PLANNING PROPER WORKING CONDITIONS IN PREMISES WITH ELECTRONIC COMPUTING MACHINES.....	143
Shekhorkina S.Yev., Zakharov M.O. STRUCTURAL SOLUTION OF TIMBER-CONCRETE WALL PANEL FOR ECOLOGICAL BUILDINGS.....	152
Sedin V.L., Ulyanov V.Yu., Kovba V.V., Zahilskyi V.A., Gorlach S.M., Simonov Yu.Yu. FEATURES IN THE ORGANIZATION AND IMPLEMENTATION OF RADONOMETRY FOR SEISMOTECTONIC PURPOSES AT TRANSPORT AND ENERGY INFRASTRUCTURE CONSTRUCTION SITES IN THE PERMAFROST ZONE.....	159

УДК 69.059.7

DOI: 10.30838/UJCEA.2312.250226.7.1204

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ТРИВАЛІСТЬ РЕВІТАЛІЗАЦІЇ ПРОМИСЛОВИХ БУДІВЕЛЬ

БАЛАКІН К. В.^{1*}, *асп.*,
ФІЛІП'ЄВ Є. О.², *студ.*

^{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 (099) 796-64-12, e-mail: balakinkonst@gmail.com, ORCID ID: 0009-0007-8329-3505

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 (066) 309-09-05, e-mail: 23289-pcb.filipiev@365.pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0009-0009-8682-875X

Анотація. Постановка проблеми. Зміна початкового функціонального призначення об'єкту і продовження його використання може бути одним із перспективних напрямків повоєнної відбудови України. Найкращий варіант ревіталізації – це багатофункціональність, коли в одному об'єкті поєднуються різні можливості. Головними запитаннями при ревіталізації промислових будівель, на які потрібно відшукати відповіді, є такі: якою має бути нова функція (або функції) будівлі; як отримати кошти для фінансування проекту; яким чином збалансувати інтереси бізнесу, місцевої влади та населення. При виконанні робіт із ревіталізації промислових будівель потрібно враховувати низку специфічних особливостей, які впливають на тривалість і вартість виконання робіт: зовнішня стисненість будівельного майданчика, внутрішня стисненість промислових будівель, насиченість промислових територій наземними та підземними інженерними комунікаціями, складна конфігурація промислових будівель. На сьогодні відсутній єдиний підхід до формування і вибору раціональних організаційно-технологічних рішень ревіталізації промислових будівель, а також відсутня статистична інформація щодо визначальних факторів впливу на показники ефективності. **Мета статті.** Виявлення залежностей між тривалістю ревіталізації промислових будівель і визначальними організаційно-технологічними факторами. **Висновок.** Проекти ревіталізації занедбаних промислових територій потребують: визначення пріоритетів ревіталізації як для окремих об'єктів, так і для цілих районів; оцінювання наявності і ступеня забруднення об'єкта небезпечними матеріалами, розроблення, за потреби, плану заходів із очищення, щоб підготувати промислові об'єкти до повторного використання; визначення переліку необхідних об'єктів інфраструктури та обсягу потрібних інвестицій; аналізу альтернативних варіантів ревіталізації промислових об'єктів; розроблення стратегії для досягнення цілей повторного використання; визначення джерел фінансування. Наявність статистично достовірні залежностей тривалості ревіталізації промислових будівель від визначальних організаційно-технологічних факторів дозволить використовувати їх для цілі прогнозування ще на передінвестиційній стадії.

Ключові слова: *ревіталізація; реконструкція; промислова будівля; тривалість; фактори впливу*

RESEARCH ON THE IMPACT OF ORGANISATIONAL AND TECHNOLOGICAL FACTORS ON THE DURATION OF INDUSTRIAL BUILDING REVITALISATION

BALAKIN K.V.^{1*}, *PhD Stud.*,
FILIPIEV Ye.O.², *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 (099) 796-64-12, e-mail: balakinkonst@gmail.com, ORCID ID: 0009-0007-8329-3505

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 (066) 309-09-05, e-mail: 23289-pcb.filipiev@365.pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0009-0009-8682-875X

Abstract. Raising of problem. Changing the original functional purpose of a building and continuing its use may be one of the promising directions for Ukraine's post-war reconstruction. The best option for revitalisation is

multifunctionality, when different possibilities are combined in one building. The main questions that need to be answered when revitalising industrial buildings are: what should be the new function (or functions) of the building; how to obtain funds to finance the project; how to balance the interests of business, local authorities and the population. When carrying out work on the revitalisation of industrial buildings, a number of specific features that affect the duration and cost of the work must be taken into account: the external compactness of the construction site, the internal compactness of industrial buildings, the saturation of industrial areas with above-ground and underground engineering communications, and the complex configuration of industrial buildings. Currently, there is no single approach to the formation and selection of rational organisational and technological solutions for the revitalisation of industrial buildings, and there is no statistical information on the determining factors influencing performance indicators. **Purpose of the article.** Identifying dependencies between the duration of industrial building revitalisation and key organisational and technological factors. **Conclusion.** Revitalisation projects for abandoned industrial sites require: setting revitalisation priorities for both individual sites and entire areas; assessing the presence and extent of hazardous material contamination at the site and, if necessary, developing a clean-up plan to prepare industrial sites for reuse; identifying the list of necessary infrastructure facilities and the amount of investment required; analysing alternative options for revitalising industrial facilities; developing a strategy to achieve reuse goals; identifying sources of funding. The existence of statistically reliable dependencies between the duration of industrial building revitalisation and key organisational and technological factors will allow them to be used for forecasting purposes at the pre-investment stage.

Keywords: *revitalisation; reconstruction; industrial building; duration; influencing factors*

Постановка проблеми. Проблема ревіталізації промислових будівель охоплює не лише технічні, технологічні, організаційні та правові аспекти, але й питання щодо обґрунтування ринкової вартості об'єкта та пошуку орендарів (покупців) [1].

Аналіз публікацій. Аналіз зарубіжного і вітчизняного досвіду ревіталізації колишніх промислових будівель [2–4] дозволяє зробити висновок про те, що зміна початкового функціонального призначення об'єкту і продовження його використання може бути одним із перспективних напрямків повоєнної відбудови України.

Досвід впровадження проєктів ревіталізації свідчить, що найкращий варіант ревіталізації – це багатофункціональність, коли в одному об'єкті поєднуються різні можливості [2; 3].

Головними запитаннями при ревіталізації промислових будівель, на які потрібно відшукати відповіді, є такі:

- якою має бути нова функція (або функції) будівлі;
- як отримати кошти для фінансування проєкту;
- яким чином збалансувати інтереси бізнесу, місцевої влади та населення.

Вирішенню науково-прикладного завдання розроблення, аналізу, обґрунтування та вибору раціональних організаційно-технологічних рішень ревіталізації промислових будівель

присвячено наукові дослідження вітчизняних і зарубіжних учених [5–12].

Наукові дослідження О. Ф. Осипова присвячені розробці системи обґрунтування і вибору організаційно-технологічних рішень реконструкції будівель як адаптивних технологічних систем, що динамічно трансформуються, і які забезпечують високоефективне та стале виконання нестаціонарних будівельних процесів в складних, мінливих умовах при дотриманні вимог щодо енерго- та ресурсозбереження, екологічної безпеки та охорони праці [5].

Результати досліджень щодо підвищення організаційно-технологічної надійності будівництва висвітлені в наукових працях Є. І. Зайця [6].

Дослідженню організаційних структур управління будівельними компаніями із застосуванням сучасних інформаційних технологій присвячено публікації В. Р. Млодецького, Т. В. Ткач [6].

Дослідження А. П. Броневицького [7; 8] присвячені розробленню наукових положень, методичних підходів і практичних рекомендацій щодо формування принципів організаційно-технологічного проектування ревіталізації промислових будівель, спрямованих на скорочення тривалості та зниження вартості будівельної продукції.

У наукових працях В. В. Ковальова [9] представлено результати розроблення

наукових положень, методичних підходів та практичних рекомендацій щодо оцінювання, аналізу, обґрунтування та вибору організаційно-технологічних рішень реконструкції промислових будівель зі зміною їх функціонального призначення, які забезпечують підвищення якості реконструкції будівель і споруд при ефективному використанні ресурсів та зниженні несприятливих впливів на довкілля.

В публікаціях Т. С. Кравчуновської [10] висвітлено питання, присвячені обґрунтуванню доцільності реконструкції

промислових підприємств із застосуванням прогресивних організаційних форм.

Розробки А. О. Осипової [11] присвячені питанням організаційно-технологічної підготовки будівництва на основі системи спеціальних ревіталізаційних робіт і заходів, упорядкованих за джерелами забруднення навколишнього середовища та значущістю елементів довкілля щодо їхньої охорони і відновлення.

В роботах В. В. Савйовського [8] визначено особливості вибору способів виконання будівельних робіт в умовах реконструкції будівель із урахуванням впливу дестабілізуючих факторів.

Таблиця 1

SWOT-аналіз Дніпропетровської області

Сильні сторони	Слабкі сторони
Розвинена промисловість, наявність вільних виробничих об'єктів	Неефективне використання виробничих потужностей
Запаси корисних копалин	Забруднення навколишнього природного середовища
Наявність водних ресурсів	Забруднення водних ресурсів
Розвинена транспортна інфраструктура: автомобільні дороги, залізниця, аеропорти	Руйнування об'єктів транспортної інфраструктури унаслідок воєнних дій
Потенціал розвитку енергетики	Загрози, пов'язані з воєнними ризиками
Розвинена сфера інформаційних технологій	Недостатньо ефективні механізми підтримки стартапів
Підтримка програм енергозбереження	Зниження рівня інвестиційної привабливості області через зростання воєнних ризиків
Наявність трудових ресурсів	Відтік кваліфікованих кадрів, обумовлений воєнними ризиками та економічною нестабільністю
Розвинена мережа освітніх закладів та наукових установ	Недостатньо ефективна інтеграція освіти, науки і виробництва
Наявність територій, придатних для створення нових житлових кварталів	Частина будівель у незадовільному технічному стані, які не відповідають сучасним нормам щодо енергоефективності
Розвинена мережа об'єктів соціальної інфраструктури	Нестабільність електро- та теплопостачання внаслідок воєнних дій
Можливості	Загрози
Модернізація промислових виробництв	Високі темпи інфляції
Розвиток аерокосмічної галузі	Недостатня державна підтримка
Інвестування логістичних центрів	Посилення міжнародної конкуренції
Розвиток «зеленої» енергетики	Обмежені фінансові ресурси
Впровадження «зелених» технологій у промислові виробництва	Висока вартість інноваційних проєктів, тривалий період окупності інвестицій
Розширення співпраці з Європейським Союзом	Ускладнення через воєнні дії

За аналітичного огляду літературних джерел (табл. 1) із питань ревіталізації промислових будівель, зокрема в Дніпропетровській області, визначено критерії, які свідчать на користь реалізації таких проєктів:

- економічні: вартість житла та об'єктів іншого функціонального призначення, заохочення підприємців, розвиток бізнесів, створення нових робочих місць;
- екологічні: рівень забруднення навколишнього природного середовища;

- соціальні: підтримка ініціатив бізнесу у співпраці з місцевою громадою;

- містобудівні: рівень розвитку та стан об'єктів інженерної, вулично-дорожньої та соціальної інфраструктури, рівень благоустрою територій, покращення архітектурного вигляду міста;

- технічні: задовільний стан промислових будівель і споруд.

За результатами виконаного аналізу наукових праць дослідників у сфері проєктування, реконструкції та ревіталізації промислових будівель можна зробити висновок, що на сьогодні відсутній єдиний підхід до формування і вибору раціональних організаційно-технологічних рішень ревіталізації промислових будівель, а також відсутня статистична інформація щодо визначальних факторів впливу на показники ефективності.

Формулювання мети статті та постановка завдань. Метою дослідження є виявлення залежностей між тривалістю ревіталізації промислових будівель і визначальними організаційно-технологічними факторами.

Результати досліджень. За період своєї експлуатації промислові будівлі зазнають багатьох природних і техногенних впливів. Ці впливи можуть мати як внутрішній характер (навантаження від обладнання та людей, вібрації від технологічних процесів), так і зовнішній характер (температурні коливання, хімічні речовини, опади, радіація, шум, шкідники) різного ступеня інтенсивності.

Обстеження промислових будівель дозволяє встановити рівень фізичного зносу і технічний стан та відповідно до цього визначити перелік необхідних ремонтно-реконструктивних заходів.

Залежно від завдань ревіталізації, обстеженню підлягають такі конструкції промислових будівель і споруд: основи і фундаменти; стіни, колони, перегородки; перекриття і покриття; віконні та дверні прорізи; підлоги.

Також оцінюється стан внутрішнього опорядження.

При обстеженні фундаментів промислових будівель і споруд найчастіше спостерігаються:

- тріщини в цоколі та під вікнами першого поверху;

- тріщини у швах між блоками, висоли;

- часткове руйнування блоків (до арматури), вивітрювання розчину зі швів між блоками;

- глибокі тріщини, сліди вогкості на поверхні цоколя і стін;

- нерівномірне осідання фундаменту;

- випинання та помітне викривлення цоколя, що поширюється на всю висоту будівлі, випинання підлог та стін підвалу.

Рідше при обстеженні фундаментів промислових будівель і споруд зустрічаються масові прогресуючі наскрізні тріщини на всю висоту будівлі, значне випинання ґрунту та руйнування стін підвалу.

При обстеженні стін промислових будівель і споруд найчастіше спостерігаються:

- тріщини та вибоїни;

- відпадання штукатурки місцями, вивітрювання розчину зі швів;

- послаблення цеглин, тріщини в карнизах і перемичках, сліди вологи на поверхні стін;

- випадання цегли, відхилення від вертикалі, випинання.

При обстеженні колон промислових будівель і споруд найчастіше спостерігаються:

- тріщини в розтягнутій зоні по всій висоті колони, по краях консолі і колони; відколи і вибоїни;

- тріщини в розтягнутій і стисненій зонах, по периметру основи і на рівні консолі, відшарування захисного шару бетону; оголення арматури і порушення її зчеплення з бетоном, глибокі відколи бетону в основі колони, викривлення колони;

- тріщини по всій висоті колони в розтягнутій зоні, наскрізні тріщини в основі колони, на рівні верху консолі, відшарування захисного шару бетону в розтягнутій зоні по

усій висоті колони, корозія і місцями розрив арматури, викривлення колони.

При обстеженні перекриттів промислових будівель і споруд можуть спостерігатися:

- тріщини у швах між плитами;
- незначне зміщення плит одна відносно іншої по висоті внаслідок деформацій, відшарування вирівнювального шару в швах;
- значне зміщення плит перекриття одна відносно іншої по висоті, сліди протікання у місцях спирання плит на зовнішні стіни;
- тріщини в плитах, сліди протікання чи промерзання на плитах і на стінах в місцях спирання;
- поперечні тріщини в плитах без оголення арматури, прогин плит;
- глибокі поперечні тріщини, оголення арматури, прогин плит.

При обстеженні покриттів промислових будівель і споруд можуть спостерігатися:

- тріщини в різних напрямках;
- сліди зволоження бетону атмосферними і агресивними водами;
- відшарування захисного шару бетону в розтягнутій зоні;
- оголення і корозія арматури;
- механічні пошкодження і глибокі відколи бетону на великій площі, прогини.

При обстеженні покрівель промислових будівель можуть спостерігатися:

- дрібні пошкодження і пробоїни в покрівлі і місцях примикання до вертикальної поверхні, прогин настінних жолобів;
- здуття поверхні, тріщини, розриви (місцями) верхнього шару покрівлі, що потребує заміни частини покрівлі;
- іржавіння і значні пошкодження настінних жолобів та огорожувальної решітки;
- проникнення вологи в місця примикання до вертикальної поверхні;
- руйнування верхнього і частково нижнього шару покриття; здуття, що потребує заміни частини покрівлі;
- протікання покрівлі місцями;

– масове протікання, відшарування покриття від основи, відсутність частин покриття.

При обстеженні підлог промислових будівель та споруд можуть спостерігатися:

- окремі дрібні вибоїни і волосяні тріщини;
- стирання поверхні в місцях ходіння, вибоїни;
- масові глибокі вибоїни і відставання покриття від основи місцями;
- масове руйнування покриття і основи.

За результатами візуального та інструментального обстеження промислових будівель і споруд виконується оцінювання фізичного зносу окремих конструкцій та будівель в цілому та визначається їх технічний стан. Ґрунтуючись на цих даних, визначається перелік необхідних ремонтно-реконструктивних заходів.

Як свідчить аналіз наукової літератури [5, 8, 9], в процесі експлуатації промислових будівель найбільше пошкоджень зазнають такі будівельні конструкції, як стіни, покриття та віконні прорізи.

Відповідно найчастіше в проектах ревіталізації промислових будівель існує потреба у виконанні робіт із відновлення властивостей будівельних конструкцій:

- ремонт зовнішніх огорожувальних конструкцій;
- ремонт або заміна конструкцій міжповерхових перекриттів;
- ремонт покриттів із заміною утеплення конструкцій покриттів та додатковим утепленням покриттів (при цьому можуть розглядатись різні варіанти: влаштування шару теплоізоляції з плитних утеплювачів, що укладаються зверху конструкцій покриття; влаштування нового теплоізоляційного шару з плитних матеріалів із заміною існуючого гідроізоляційного килима і утеплювача; влаштування монолітних легкобетонних утеплювачів; влаштування інверсійних покриттів; влаштування теплоізоляції знизу конструкцій покриття; влаштування теплоізоляції з напиленого пінополіуретану);
- ремонт бетонних або залізобетонних колон;

- ремонт покрівель;
- заміна віконних і дверних прорізів, часткове закладання віконних прорізів;
- влаштування теплоізоляції стін (скріпленої теплоізоляції або вентиляованого фасаду);
- ремонт підлог;
- виконання внутрішніх опоряджувальних робіт.

Таким чином, проектами ревіталізації промислових будівель можуть бути передбачені роботи з:

- підсилення кам'яних конструкцій, зокрема стін шляхом влаштування армоцегляної, армоцементної або металеві

обойми, ін'єктування закріплюючого розчину;

- підсилення колон, зокрема шляхом влаштування залізобетонної або металеві обійми, або наклеюваного армування;

- підсилення балочних конструкцій, зокрема шляхом бетонування, вклеювання анкерів, зтяжки, додаткових опор, розвантажувальних конструкцій, наклеюваного армування.

При виконанні робіт із ревіталізації промислових будівель потрібно враховувати низку специфічних особливостей, які впливають на організацію виконання робіт та на тривалість і вартість їх виробництва (табл. 2).

Таблиця 2

Специфіка робіт із ревіталізації промислових будівель

№ з/п	Специфічні риси	Наслідки
1	Зовнішня стисненість будівельного майданчика	Певні ускладнення та обмеження щодо застосування ефективної техніки, влаштування майданчиків для складування матеріалів і конструкцій, рух будівельної техніки тощо. Це зазвичай призводить до зростання вартості виконання робіт, ускладнень із точки зору організації робіт, зростання ризиків із точки зору безпеки на будівельному майданчику
2	Внутрішня стисненість промислових будівель	Може позначатись на тривалості і вартості виконання робіт
3	Насиченість промислових територій наземними та підземними інженерними комунікаціями	Розроблення комплексу робіт із захисту або перенесення інженерних комунікацій, що позначається на збільшенні вартості робіт
4	Складна конфігурація промислових будівель	Застосування індивідуального підходу до вибору методів і засобів виконання робіт

До таких особливостей належать:

- зовнішня стисненість будівельного майданчика, що може ускладнювати та обмежувати застосування ефективної техніки, влаштування майданчиків для складування матеріалів і конструкцій, рух будівельної техніки тощо; це зазвичай призводить до зростання вартості виконання робіт, ускладнень з точки зору організації робіт, зростання ризиків з точки зору безпеки на будівельному майданчику;

- внутрішня стисненість промислових будівель, яка пов'язана з наявністю різноманітного обладнання в місця виконання робіт;

- насиченість промислових територій наземними та підземними інженерними

комунікаціями, що позначається на ефективності використання землерийної техніки, а також може обумовлювати комплекс робіт із захисту або перенесення інженерних комунікацій;

складна конфігурація промислових будівель, що може потребувати індивідуального підходу до вибору методів і засобів виконання робіт.

Розглянута специфіка виконання робіт із ревіталізації промислових будівель може спричинити зниження продуктивності праці, зростання витрат на експлуатацію машин і механізмів, збільшення собівартості робіт.

За результатами опрацювання наукової літератури [5; 8; 9; 11] складено перелік факторів, які відображають специфічні

особливості ревіталізації промислових будівель та можуть здійснювати вплив різного ступеня інтенсивності на показники ефективності організаційно-технологічних рішень:

- фактор стисненості (x_1);
- фактор підсилюваних будівельних конструкцій (x_2);
- фактор замінюваних будівельних конструкцій (x_3).

Для кількісної оцінки впливу вищезазначених факторів на показники ефективності організаційно-технологічних рішень ревіталізації промислових будівель доцільно скористатися безрозмірними факторами, значення яких змінюються в межах від 0 до 1.

Для моделювання зв'язку між результативною та факторними ознаками можна використати прикладне програмне забезпечення MS Excel, яке забезпечує зручність оброблення даних, автоматизує обчислення та дозволяє отримати наочні результати за допомогою вбудованих інструментів статистичного аналізу.

За результатами моделювання зв'язку між результативною та факторними ознаками виявлено такі залежності:

$$Y = 7,8 + 11,427 \cdot x_1.$$
$$Y = 136,06 \cdot x_2 - 1,796.$$
$$Y = 65,05 \cdot x_3 - 0,29.$$

Розраховані та відібрані найбільш статистично достовірні залежності дозволяють кількісно оцінити вплив організаційно-технологічних факторів на тривалість ревіталізації промислових будівель і можуть бути використані для прогнозування.

Висновки

Проекти ревіталізації є достатньо складними і потребують врахування

багатьох аспектів, а також об'єднання зусиль бізнесу, населення та органів місцевого самоврядування.

Проекти ревіталізації занедбаних промислових територій потребують:

- визначення пріоритетів ревіталізації як для окремих об'єктів, так і для цілих районів;
- оцінювання наявності і ступеня забруднення об'єкта небезпечними матеріалами, розроблення, за потреби, плану заходів із очищення, щоб підготувати промислові об'єкти до повторного використання;
- визначення переліку необхідних об'єктів інфраструктури та обсягу потрібних інвестицій;
- аналізу альтернативних варіантів ревіталізації промислових об'єктів;
- розроблення стратегії для досягнення цілей повторного використання;
- визначення джерел фінансування.

Впровадження проектів ревіталізації допоможе перетворити міське середовище, покращивши його якість і для населення, і для бізнесу.

Впровадження проектів ревіталізації промислових будівель дозволяє отримати вигоди різного характеру:

- містобудівного характеру: розвиток житла та об'єктів соціальної, інженерної, дорожньо-транспортної інфраструктури, покращення архітектурного вигляду міста;
- економічного характеру: заохочення підприємців, розвиток бізнесів, створення нових робочих місць;
- соціального характеру: підтримка ініціатив бізнесу у співпраці з місцевою громадою;
- екологічного характеру: зменшення негативного впливу на навколишнє природне середовище.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Івашко Ю., Івашко О., Дмитренко А. Ревіталізація міських територій в світлі соціальних і екологічних проблем. *Просторовий розвиток*. 2023. № 5. С. 33–50.
2. Promprylad.Renovation. URL: <https://promprylad.ua/ua/>
3. Selvina D. Revitalization of Industrial Buildings. *International Journal of Applied Sciences: Current and Future Research Trends (IJASCFRT)*. 2022. Vol. 5, № 1. Pp. 16–29.

4. Сич О. А. Ревіталізація як складова стратегії розвитку міста. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія : Економічна*. 2020. Вип. 99. С. 66–73.
5. Осипов О. Ф. Система обґрунтування та вибору організаційно-технологічних рішень реконструкції будівель : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.23.08. Одеса : ОДАБА, 2015. 47 с.
6. Заяць Є. І., Млодецький В. Р., Ткач Т. В., Мартиш О. О. Методи забезпечення управлінської реалізованості календарних планів зведення об'єктів будівництва : монографія. Дніпро : Акцент-ПП, 2019. 148 с.
7. Ковальов В. В., Броневицький А. П., Заяць Є. І., Кравчуновська Т. С., Косолапов А. Ф. Особливості промислових будівель та робіт із їх реконструкції зі зміною функціонального призначення. *Український журнал будівництва та архітектури*. 2023. № 4. С. 101–110.
8. Савйовський В. В., Броневицький А. П. Реконструкція промислових будівель при їх ревіталізації. *Нові технології в будівництві*. 2014. № 27–28. С. 33–36.
9. Ковальов В. В. Розвиток науково-методологічних основ організаційно-технологічного проектування реконструкції промислових будівель зі зміною функціонального призначення : дис. ... д-ра техн. наук : 05.23.08. Дніпро, 2021. 401 с.
10. Кравчуновська Т. С., Ковальов В. В., Броневицький С. П., Нечепуренко Д. С. Реконструкція промислових підприємств із застосуванням прогресивних організаційних форм. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2018. № 1. С. 19–26.
11. Осипова А. О. Ревіталізація процесів будівельного виробництва. Оптимізація організаційно-технологічних рішень : монографія. Київ : ФОП Ямчинський О. В., 2022. 226 с.
12. Кравчуновська Т. С., Броневицький С. П., Ковальов В. В., Данилова Т. В., Ткач Т. В. Планування розміщення і організація будівництва та реконструкції об'єктів доступного житла з урахуванням містоформуючих особливостей територій великих міст : монографія. Дніпро : Літограф, 2019. 228 с.

REFERENCES

1. Ivashko Yu., Ivashko O. and Dmytrenko A. *Revitalizatsiia miskyykh terytorii v svitli sotsialnykh i ekolohichnykh problem* [Revitalisation of urban areas in light of social and environmental issues]. *Prostorovyi rozvytok* [Spatial Development]. 2023, no. 5, pp. 33–50. (in Ukrainian).
2. Promprylad. Renovarion. URL: <https://promprylad.ua/ua/> (in Ukrainian).
3. Selvina D. Revitalization of Industrial Buildings. *International Journal of Applied Sciences: Current and Future Research Trends* (IJASCFT). 2022, vol. 5, no. 1, pp. 16–29.
4. Sych O.A. *Revitalizatsiia yak skladova stratehii rozvytku mista* [Revitalisation as part of the city's development strategy]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetu imeni V. N. Karazina. Seriya : Ekonomichna* [Bulletin of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series : Economic]. 2020, iss. 99, pp. 66–73. (in Ukrainian).
5. Osypov O.F. *Systema obhruntuvannia ta vyboru orhanizatsiino-tekhnohichnykh rishen rekonstruksii budivel: avtoref. dys. ... d-ra tekhn. nauk : 05.23.08* [System for substantiating and selecting organisational and technological decisions for building reconstruction: abstract of thesis ... Dr. Sc.: 05.23.08]. Odessa : ODABA Publ., 2015, 47 p. (in Ukrainian).
6. Zaiats Ye.I., Mlodetskyi V.R., Tkach T.V. and Martysh O.O. *Metody zabezpechennia upravlinskoj realizovanosti kalendarnykh planiv zvedennia obiektiv budivnytstva : monohrafiia* [Methods for ensuring the managerial feasibility of construction project schedules: monograph]. Dnipro : Aktsent-PP Publ., 2019, 148 p. (in Ukrainian).
7. Kovalov V.V., Bronevitskyi A.P., Zaiats Ye.I., Kravchunovska T.S. and Kosolapov A.F. *Osoblyvosti promyslovykh budivel ta robit iz ikh rekonstruksii zi zminoiu funktsionalnoho pryznachennia* [Features of industrial buildings and reconstruction works with a change in functional purpose]. *Ukrainskyi zhurnal budivnytstva ta arkhitektury* [Ukrainian Journal of Civil Engineering and Architecture]. 2023, no. 4, pp. 101–110. (in Ukrainian).
8. Saviovskyi V.V. and Bronevitskyi A.P. *Rekonstruksiiia promyslovykh budivel pry ikh revitalizatsii* [Reconstruction of industrial buildings during their revitalisation]. *Novi tekhnolohii v budivnytstvi* [New Technologies in Civil Engineering]. 2014, no. 27–28, pp. 33–36. (in Ukrainian).
9. Kovalov V.V. *Rozvytok naukovo-metodolohichnykh osnov orhanizatsiino-tekhnohichnoho proektuvannia rekonstruksii promyslovykh budivel zi zminoiu funktsionalnoho pryznachennia : dys. ... d-ra tekhn. nauk: 05.23.08* [Development of scientific and methodological bases of organizational and technological designing of reconstruction of industrial buildings with change of functional purpose : abstract of thesis ... Dr. Sc.: 05.23.08]. Dnipro, 2021, 401 p. (in Ukrainian).
10. Kravchunovska T.S., Kovalov V.V., Bronevitskyi S.P. and Nечepurenko D.S. *Rekonstruksiiia promyslovykh pidpriemstv iz zastosuvanniam prohresyvnnykh orhanizatsiinykh form* [Reconstruction of industrial enterprises using progressive organisational forms]. *Visnyk Prydniprovskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury* [Bulletin of Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture]. 2018, no. 1, pp. 19–26. (in Ukrainian).
11. Osypova A.O. *Revitalizatsiia protsesiv budivelnoho vyrobnytstva. Optymizatsiia orhanizatsiino-tekhnohichnykh rishen: monohrafiia* [Revitalisation of construction production processes. Optimisation of

organisational and technological decisions : monograph]. Kyiv : FOP Yamchynskiy O.V. Publ., 2022, 226 p. (in Ukrainian).

12. Kravchunovska T.S., Bronevytskyi S.P., Kovalov V.V., Danylova T.V. and Tkach T.V. *Planuvannia rozmishchennia i orhanizatsiia budivnytstva ta rekonstruksii ob'ektiv dostupnoho zhytla z urakhuvanniam mistoformuiuchykh osoblyvosti terytorii velykykh mist* [Planning the location and organisation of construction and reconstruction of affordable housing facilities, taking into account the city-forming characteristics of large urban areas : monograph]. Dnipro : Litohraf Publ., 2019, 228 p. (in Ukrainian).

Надійшла до редакції: 30.11.2025 p.

УДК 378:159.9

DOI: 10.30838/UJCEA.2312.250226.15.1205

НАВЧАЛЬНА МОТИВАЦЯ В ОСВІТНЬОМУ ПРОЦЕСІ

БІЛОПОЛІЙ В. В.^{1*}, канд. іст. наук, доц.,
СКЛАДАНОВСЬКА М. Г.², доктор філософії, доц.

^{1*} Кафедра філософії, Український державний університет науки і технологій, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (099) 453-35-30, e-mail: bilopolyi.viktor@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-9935-7568

² Кафедра філософії, Український державний університет науки і технологій, 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) 457-31-99, e-mail: skladonovska.maryna@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-6552-5460

Анотація. *Постановка проблеми.* Мотивація є однією з фундаментальних проблем як вітчизняної, так і закордонної психології. Мотивація розуміється як джерело активності людини і одночасно як система побудників будь-якої діяльності. Навчальна діяльність завжди полімотивована. Навчальна мотивація визначається цілою низкою чинників, специфічних для даної конкретної діяльності: характером освітньої системи; організацією педагогічного процесу в освітньому закладі; особливостями самого учня (стать, вік, рівень інтелектуального розвитку та здібностей, рівень домагань, самооцінка, характер взаємодії з іншими учнями); особистісними особливостями викладача і, перш за все, системою його відносин до студента, до педагогічної діяльності; специфікою навчального предмета. Найчастіше мотиви навчальної діяльності виступають у складному взаємопереплетенні й взаємозв'язках. Отже, перед викладачем стоїть завдання визначити домінуючий мотив навчальної мотивації студента, а також проаналізувати всі мотиви, на які ми можемо впливати. В статті аналізуються психолого-педагогічні умови формування мотивації до навчальної діяльності та педагогічні прийоми, що сприяють розвитку мотиваційної сфери сучасного студента. **Висновки.** Пізнавальна мотивація студента є не стільки виявленням особистісної риси, скільки відображенням заданих умов діяльності, дидактичного впливу. Існує принципова можливість цілеспрямованого розвитку навчальної мотивації суб'єкта. Автори пропонують використовувати такі форми позитивного підкріплення, як схвалення результатів роботи студента, підвищення рейтингу діяльності студента та його власних думок. Мотиваційне переключення допомагає сформувати інтерес до навчальної дисципліни, якщо викладач зможе пов'язати її зміст з особисто значущими для студента предметами чи процесами. Мотиви стають основним важелем підвищення ефективності навчальної діяльності. Формування професійної мотивації (бажання набути знання та навички, необхідні для подальшої роботи) забезпечує довготривалу активність студента у самостійній роботі. А розвиток внутрішньої навчальної мотивації студента у сучасних умовах визначається першочерговим у конструктивній частині діяльності педагога.

Ключові слова: *пізнавальні мотиви; когнітивні процеси; стиль педагогічного спілкування; дидактичні впливи*

LEARNING MOTIVATION IN THE EDUCATIONAL PROCESS

BILOPOLY V.V.^{1*}, *Cand. Sc. (Historical), Assoc. Prof.*,
SKLADANOVSKA M.G.², *PhD, Assoc. Prof.*

^{1*} Department of Philosophy, Ukrainian State University of Science and Technologies, 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 (099) 453-35-30, e-mail: bilopolyi.viktor@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-9935-7568

² Department of Philosophy, Ukrainian State University of Science and Technologies, 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 (066) 457-31-99, e-mail: skladonovska.maryna@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-6552-5460

Abstract. Problem statement. Motivation is one of the fundamental problems of both domestic and foreign psychology. Motivation is understood as a source of human activity and at the same time as a system of instigators of any activity. Educational activity is always polymotivated. Educational motivation is determined by a number of factors specific to this particular activity: the nature of the educational system; the organization of the pedagogical process in an educational institution; the characteristics of the student himself (gender, age, level of intellectual development and abilities, level of aspirations, self-esteem, nature of interaction with other students); the personal characteristics of the teacher and, above all, the system of his relations to the student, to pedagogical activity; the specificity of the educational subject. Most often, the motives of educational activity appear in a complex interweaving and interconnections. Therefore, the teacher is faced with the task of determining the dominant motive of the student's educational motivation, as well as analyzing all the motives that we can influence. The article analyzes the psychological and pedagogical conditions for the formation of motivation for educational activity and pedagogical techniques that contribute to the development of the motivational sphere of a modern student. **Conclusions.** The student's cognitive motivation is not so much a manifestation of a personal trait as a reflection of the given conditions of activity, didactic influence. There is a fundamental possibility of purposeful development of the subject's educational motivation. The authors propose to use such forms of positive reinforcement as approval of the results of the student's work, increasing the rating of the student's activity and his own thoughts. Motivational switching helps to form interest in the academic discipline if the teacher can connect its content with personally significant subjects or processes for the student. Motives become the main lever for increasing the effectiveness of educational activity. The formation of professional motivation (the desire to acquire knowledge and skills necessary for further work) ensures the student's long-term activity in independent work. And the development of the student's internal educational motivation in modern conditions is determined as a priority in the constructive part of the teacher's activity.

Keywords: *cognitive motives; cognitive processes; style of pedagogical communication; didactic influences*

Постановка проблеми. Мотивація є однією з фундаментальних проблем як вітчизняної, так і закордонної психології. Це пов'язано з аналізом джерел активності людини, спонукальних сил її діяльності, поведінки. Вперше термін «мотивація» вжив А. Шопенгауер у статті «Чотири принципи достатньої причини» (1900–1910). У сучасній літературі мотивація (лат. Motivatio) визначається як:

- система внутрішніх факторів, що викликають і спрямовують орієнтовану на досягнення мети поведінку людини або тварини;
- спонукування, що викликає активність організму і визначає її спрямованість;
- вся сукупність мотивів, які спонукають до досягнення мети.

Таким чином мотивація розуміється як джерело активності людини і одночасно як система побудників будь-якої діяльності.

Мета статті – аналіз психолого-педагогічних умов та прийомів формування мотивації студента до навчальної діяльності.

Учіння – специфічно людська діяльність, причому воно можливе лише на тій ступені

розвитку психіки людини, коли вона здатна регулювати свої дії свідомою метою. Навчання висуває вимоги до пізнавальних процесів (пам'яті, уваги, мислення, уяви) і вольових якостей. У навчальній діяльності об'єднуються не тільки пізнавальні функції діяльності (сприйняття, увага, пам'ять, мислення, уява), а й потреби, мотиви, емоції, воля. Як і будь-який інший вид мотивації, навчальна мотивація визначається цілою низкою чинників, специфічних для даної конкретної діяльності:

- характером освітньої системи;
- організацією педагогічного процесу в освітньому закладі;
- особливостями самого учня (стать, вік, рівень інтелектуального розвитку та здібностей, рівень домагань, самооцінка, характер взаємодії з іншими учнями і т. п.);
- особистісними особливостями викладача і, перш за все, системою його відносин до студента, до педагогічної діяльності;
- специфікою навчального предмета.

Навчальна діяльність завжди полімотивована. Найчастіше мотиви

навчальної діяльності виступають у складному взаємопереплетенні й взаємозв'язках. Отже, перед викладачем стоїть завдання визначити домінуючий мотив навчальної мотивації студента, а також проаналізувати всі мотиви, на які ми можемо впливати.

До зовнішніх мотивів в структурі навчальної мотивації можна віднести негативні мотиви загрози відрахування з вузу, позбавлення стипендії, матеріальних нагород від батьків. До зовнішньої же мотивації можна віднести і позитивні мотиви очікування гарного місця роботи і гідної зарплати в майбутньому (за умови успішного навчання), потреба в повазі, визнання референтною групою. До внутрішніх мотивів навчальної мотивації ми відносимо інтерес до самих знань, прагнення до розширення кругозору, прагнення опанувати обраний фах, стати компетентним фахівцем, потреба в самоактуалізації.

Але зовнішні мотиви, на наш погляд, завжди внутрішньо обумовлені. Адже для того, щоб зовнішні фактори стали стимулами до дії, необхідна значимість цих факторів для даної особистості. Вона визначається їх відповідністю внутрішнім цінностям, переконанням, установкам. Зовнішні негативні чинники в якості мотивів уникнення невдач діють обмежений час, на відміну від внутрішньої пізнавальної мотивації.

Отже, формування внутрішньої пізнавальної мотивації стає головним завданням викладача, особливо в період воєнного стану, коли освітній процес переважно відбувається у дистанційному форматі. Формування професійної мотивації (бажання набути знання та навички, необхідні для подальшої роботи) забезпечує довготривалу активність студента у самостійній роботі. Мотивом може бути щось виключно значуще для особистості, а сила мотиву визначає інтенсивність діяльності. Інтерес до навчання є рушійною силою діяльності студента: він мобілізує увагу, підвищує інтенсивність сприйняття інформації, активізує мислення, дає радість, позитивні емоції, задоволення процесом і

результатом діяльності, сприяє розвитку здібностей і обдарованості студента.

Яким же чином ми можемо впливати на виникнення і розвиток пізнавальної мотивації студента? Ми вважаємо, що перш за все це постановка мети вивчення даної дисципліни, її завдань, можливості її застосування в майбутній професії, в спілкуванні з іншими людьми, в особистісному розвитку. Мета – це уявлення про кінцевий результат діяльності студента. Ось чому викладач повинен чітко сформулювати ціль самостійної роботи студента: запам'ятовування, виділення головних ідей тексту, передача змісту своїми словами, складання плану, схеми, власні висновки тощо. Конкретна мета самостійної роботи студента не тотожна до тих цілей, які має на меті викладач.

Наприклад: мета студента – виконати самостійно вправу чи розв'язати задачу; мета викладача – за допомогою цих способів самостійної роботи засвоїти алгоритм розв'язання цілого класу задач, сформулювати впевненість студента в своїх можливостях, розвинути логічне мислення студента.

Методика викладення матеріалу, зрозуміла для студента мова, ерудиція викладача, який включає в лекцію цікаві історичні факти, приклади з практики, ефект парадоксальності викликають інтерес у студента і полегшують сприйняття матеріалу.

І, звичайно, інтерактивні методи навчання: проблемне викладання, евристичні бесіди, круглі столи, дискусії, ділові ігри, мозковий штурм для вирішення поставленої проблеми, рішення запропонованих ситуаційних завдань, тренінги. Все це стимулює студента самостійно думати, робити висновки, висловлювати свою власну думку, вчитися відстоювати її й прислухатися до опонентів. Інтерес до такого навчання мобілізує увагу, підвищує інтенсивність сприйняття інформації, активізує мислення, приносить задоволення процесом і результатом діяльності, формує процесуально – змістовну мотивацію, сприяє розвитку креативності студента.

Стиль педагогічного спілкування може так само активізувати й інші види мотивації. Встановлення доброзичливих відносин зі студентською аудиторією, створення «безпечної» атмосфери під час занять, коли є місце гумору, посмішці, актуалізує мотив афіліації. Афіліативне спілкування приносить задоволення і прагнення продовжувати контакти з людьми, бути присутнім на таких лекціях. Якщо ж сам викладач викликає повагу своєю ерудицією, умінням пояснювати з урахуванням різнорівневої підготовки слухачів, психологічною культурою, то думка цього викладача стає референтною для студента. Це може формувати мотивацію ідентифікації з цією людиною, підвищуючи впевненість в собі і викликаючи душевний підйом. Поширення емоційного переживання на новий зміст надає йому відповідного емоційного забарвлення і робить більш привабливим. Після кількох поєднань емоції з предметом, відбувається емоційне ставлення до нього.

Таким чином, педагогічне спілкування має створювати оптимальні умови для розвитку мотивації навчання, творчої діяльності, забезпечувати сприятливий емоційний клімат, знімати психологічні бар'єри в навчанні і спілкуванні.

Особливо вагомою для формування творчої особистості студента є зустріч з Особистістю – педагогом, що зможе розкрити особливості своєї «творчої лабораторії», свого світосприйняття, своєї індивідуальності, створюючи мотив зацікавленості, прагнення самовдосконалення у студентів.

Але одночасно викладач має бути зорієнтований на пізнання особистості студента, його індивідуальності, на створення адекватних суб'єкт-суб'єктних відносин як з обдарованими, талановитими студентами, так і з тими, для кого ця Зустріч може стати відправним пунктом їх подальшого особистісного, інтелектуального розвитку.

А чи потрібно це взагалі? Серед молодих викладачів і людей, не обтяжених психологічним знанням, часто поширена

ілюзія: «той, хто хоче – той буде вчитися, а з тим, хто не хоче, не варто й возитися – марно». Таким чином, наявність або відсутність мотивації до навчальної діяльності зводиться до особистісних особливостей студента, на які якщо і можна впливати зовні, то потрібно це було робити раніше: у родині, у школі. Безумовно, рівень інтелектуального розвитку студента, розвитку когнітивних процесів, його індивідуальні особливості (сила волі, допитливість, рівень культури, адекватна самооцінка) не можуть не впливати на рівень мотивації до навчальної діяльності. І сензитивні періоди для розвитку словесно-логічної пам'яті, абстрактного мислення, довільної уваги у віковій періодизації знаходяться набагато раніше студентського віку. І виховання людини відбувається, головним чином, у родині. Все це так. Проте психологічні дослідження ефективності навчання призводять нас до результату, який спрощує вищезгаданий міф: пізнавальна мотивація виступає не стільки проявом стійкої особистісної риси, скільки відображенням заданих умов діяльності, дидактичних впливів.

Атмосфера в стінах вищого навчального закладу, індивідуальний стиль викладача, обрані форми і методи організації занять, керівництво пізнавальною діяльністю студентів, спілкування педагога зі студентами впливають на формування пізнавальних мотивів учіння. У випадку сформованого пізнавального мотиву учіння студент отримує задоволення від пізнання нового, від процесу розумової діяльності, своїх досягнень.

Позитивний вплив мають також мотиви престижу як в процесі навчання, так і спрямовані в майбутнє – очікування професійної компетентності й досягнень в майбутній професійній діяльності. Задоволення від спілкування з високорозвиненою, духовно багатою людиною, від відчуття себе частиною інтелектуальної спільноти має не аби яке значення у формуванні позитивної мотивації й розвитку вищих потреб особистості.

Створення особливої атмосфери в університеті – культу знань, творчості, порядності, взаємоповаги та взаємопідтримки – це задача всього університетського колективу: викладачів, адміністрації, обслуговуючого персоналу, всіх, хто спілкується зі студентами і створює умови їх розвитку та навчання.

Підвищення мотивації і, як наслідок, зацікавленості і працездатності дозволяє компенсувати недостатній розвиток пізнавальних психічних процесів та інтелектуальних умінь учорашнього школяра. От чому мотивація - перший і обов'язковий компонент у структурі навчальної діяльності, перша вимога до планування й організації навчальних занять викладачем.

Безперечно, важливим чинником формування позитивної навчальної мотивації є високий вихідний рівень розумового розвитку індивіда. Але існує принципова можливість цілеспрямованого розвитку навчальної мотивації суб'єкта з орієнтацією на способи діяльності, а не на результат. Таким чином, для створення позитивної навчальної мотивації у першокурсників вкрай важливо розвивати розумові операції (аналіз, синтез, порівняння, узагальнення) спеціальними завданнями і навчати прийомам навчальної діяльності.

Висновки

Мотивація до навчальної діяльності – це складна багаторівнева система побудована, що включають в себе потреби, інтереси, ідеали, прагнення, установки, емоції, норми, цінності. Перш за все це розвинені вищі потреби особистості: пізнавальні, естетичні, самоактуалізаційні. Найбільший вплив на ефективність навчальної діяльності надає внутрішня пізнавальна мотивація.

Саме мотиви визначають особистісний зміст навчальної діяльності студента. Вони стають основним важелем підвищення ефективності навчальної діяльності, не виключаючи тих випадків, коли навчання для студента є засобом досягнення інших цілей (одержання престижної професії,

конкурентноздатності на ринку професійних послуг та інше). Саме мотиваційний аспект стає першочерговим у конструктивній частині діяльності педагога в умовах значного скорочення аудиторних годин на вивчення низки дисциплін.

Виділимо головні психолого-педагогічні аспекти, які має брати до уваги викладач:

- високомотивовані індивіди більше працюють і, як правило, досягають кращих результатів;
- менш здібний, але більш мотивований студент досягає найчастіше більшого успіху, ніж його більш здібний колега;
- надмірна складність діяльності призводить до зниження мотивації, якщо у індивіда ще не сформовані інтелектуальні дії, необхідні для розуміння і розв'язання задачі;
- несприятлива життєва ситуація, в якій зараз перебуває студент, може призвести до зниження як мотивації, так і ефективності пізнавальної діяльності;
- очікування неприємностей, покарань, незручностей (погрози батьків, викладачів, можливе відрахування з університету) – це негативна мотивація уникнення, яка може стимулювати до діяльності лише на короткочасний термін, доки існує реальна загроза;
- позитивна оцінка своїх здібностей і своєї компетентності, віра у свої можливості успішно виконати завдання – важливий мотиваційний чинник;
- педагог має використовувати мотиваційне переключення, тобто формування позитивного ставлення, інтересу до змісту дисципліни шляхом спроб пов'язати його з особистісно значущими для студента об'єктами чи діяльністю;
- мотиваційне зумовлення – це надання емоційного значення певному предмету або змісту, поширення емоційного переживання на новий зміст;
- з метою підвищення мотивації діяльності варто вдаватися до форм позитивного підкріплення: схвалення, підвищення статусу, високі рейтинги, оцінки, тестові бали, виявлення уваги до власних думок студента.

Треба індивідуально підбирати форму схвалення: емоційно-оцінювальне чи логічне обґрунтування, чим цікава і важлива висловлена студентом власна думка.

Дослідження психологів (С. Занюк, С. Микитюк, Л. Столяренко та ін.) підтверджують, що пізнавальна мотивація є не стільки виявленням особистісної риси,

скільки відображенням заданих умов діяльності, дидактичного впливу.

Отже, викликати зацікавлення, сформуванню пізнавальну мотивацію до вивчення, стимулювати допитливість студента, його творчу ініціативу – першочергова задача викладача при плануванні занять та їх здійсненні.

С ПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Занюк С. С. Психологія мотивації : навч. посіб. Київ : Либідь, 2002. 304 с.
2. Микитюк С. О., Микитюк С. С. Мотивація початкової діяльності як ресурс освітнього процесу. *Педагогіка формування творчої особистості у вищій і загальноосвітній школах*. 2021. № 76, т. 2. С. 121–126. URL: http://pedagogy-journal.kpu.zp.ua/archive/2021/76/part_2/23.pdf
3. Складановська М. Г. Інноваційне навчання: активізація пізнавальної діяльності студентів : навч. посіб. Вид. 2-ге, доп. Дніпро : ПДАБА, 2017. 108 с. URL: <https://surl.lt/cwasqg>

REFERENCES

1. Zanyuk S.S. *Psykhologhiia motyvatsii : navch. posib.* [Psychology of motivation : textbook]. Kyiv : Lybid' Publ., 2002, 304 p. (in Ukrainian).
2. Mykytyuk S.O. and Mykytyuk C.C. *Motyvatsiia nachalnoi diialnosti yak resurs osvithnoho protsesu* [Motivation of primary activity as a resource of the educational process]. *Pedahohika formuvannya tvorchoyi osobystosti u vyshchii i zahal'noosvitniy shkolakh* [Pedagogy of the Formation of a Creative Personality in Higher and General Education Schools]. 2021, no. 76, vol. 2, pp. 121–126. URL: http://pedagogy-journal.kpu.zp.ua/archive/2021/76/part_2/23.pdf (in Ukrainian).
3. Skladanovs'ka M.H. *Innovatsiine navchannia : aktyvizatsiia piznavalnoi diialnosti studentiv* [Innovative learning : activating students' cognitive activity]. 2nd ed., suppl. Dnipro : PSACEA, 2017, 108 p. URL: <https://surl.lt/cwasqg> (in Ukrainian).

Надійшла до редакції: 12.11.2025.

УДК 658.5:69.057

DOI: 10.30838/UJCEA.2312.250226.21.1206

ПОЄДНАННЯ ВІМ ТА ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В АВТОМАТИЗАЦІЇ СТВОРЕННЯ КАЛЕНДАРНИХ ПЛАНІВ БУДІВНИЦТВА

БОРОДІН М. О.^{1*}, канд. техн. наук, доц.,
ТКАЧ Т. В.², канд. техн. наук, доц.,
ІЛЬЄВ І. М.³, канд. техн., наук, доц.,
РАКАЄВ О. М.⁴, ас.

^{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) 724-96-31, e-mail: borodin.maksym@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0003-0513-3876

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 (096) 231-35-79, e-mail: tkach.taisiia@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-9433-7514

³ Кафедра експлуатації і ремонту машин, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (096) 764-96-99, e-mail: iliev.illia@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-9515-7734

⁴ Кафедра експлуатації і ремонту машин, 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) 682-10-96, e-mail: rakaiev.oleksandr@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0009-0001-3173-0140

Анотація. Предметом дослідження є процес автоматизації календарного планування будівництва шляхом інтеграції технологій інформаційного моделювання будівель (BIM) та штучного інтелекту (AI) з метою оптимізації управлінських рішень у сфері будівництва. Застосування цифрових технологій у поєднанні з алгоритмами машинного навчання дозволяє здійснювати автоматичний аналіз структурованих BIM-даних, прогнозувати тривалість окремих процесів і формувати оптимізований календарний план у вигляді діаграми Ганта. Результати дослідження свідчать, що впровадження запропонованої моделі істотно скорочує час планування, мінімізує вплив людського фактора на прийняття рішень і підвищує точність прогнозування. Проте, результативність таких систем значною мірою залежить від повноти даних у моделі та готовності проектних команд до цифрової трансформації. Важливою особливістю є здатність системи адаптивно змінювати планування у відповідь на зміни проектної документації, обмеження ресурсів і зовнішні впливи, що є критичним чинником на сучасному ринку будівництва. Такі результати пояснюються інноваційним підходом, який поєднує структурований аналіз BIM-моделей з високопродуктивними алгоритмами машинного навчання, здатними швидко обробляти великі обсяги даних. Запропонована система може бути практично застосована у девелоперських компаніях, проектних бюро та державних установах, що займаються регулюванням будівництва. Такий підхід придатний як для типових, так і для масштабних житлових проєктів, де швидка адаптація графіків до змінних умов є критично важливою. Таким чином, результати дослідження формують підґрунтя для переходу до цифрового управління будівництвом і подальшої інтеграції інноваційних технологій у проектне управління.

Ключові слова: штучний інтелект; BIM; календарне планування; діаграма Ганта; автоматизація; цифрові технології; оптимізація проєкту

COMBINING BIM AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN AUTOMATING THE CREATION OF CONSTRUCTION SCHEDULES

BORODIN M.O.^{1*}, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*,
TKACH T.V.², *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*,
ILIEV I.M.³, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*,
RAKAEV O.M.⁴, *Ass.*

^{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) 724-96-31, e-mail: borodin.maksym@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0003-0513-3876

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 (096) 231-35-79, e-mail: tkach.taisiia@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-9433-7514

³ Department of Construction and Road Machinery, 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 (096) 764-96-99, e-mail: iliev.illia@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-9515-7734

⁴ Department of Construction and Road Machinery, 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 (050) 682-10-96, e-mail: rakaiev.oleksandr@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0009-0001-3173-0140

Abstract. The subject of the research is the process of automating construction scheduling by integrating Building Information Modeling (BIM) technologies with Artificial Intelligence (AI) to optimize managerial decisions in the construction. The application of digital technologies combined with machine learning algorithms enables automatic analysis of structured BIM data, forecasting of the duration of individual tasks, and the generation of an optimized construction schedule in the form of a Gantt chart. The research results indicate that implementing the proposed model significantly reduces scheduling time, minimizes the impact of human error on decision-making, and enhances forecasting accuracy. A notable feature of the findings is the system’s ability to adaptively adjust scheduling in response to changes in project documentation, resource constraints, and external influences – a critical factor in today’s construction market. These results are explained by the innovative approach, which integrates structured analysis of BIM models with high-performance ML algorithms capable of processing large volumes of data rapidly. The proposed system can be practically applied in developer companies, design bureaus, and governmental bodies involved in construction regulation. This approach is applicable to both typical and large-scale projects in the housing sector, where rapid adaptation of schedules to changing conditions is crucial. Thus, the research outcomes establish a solid foundation for transitioning to digital construction management and further integration of innovative technologies in project management.

Keywords: *building information modeling; artificial intelligence; BIM; construction scheduling; Gantt chart; automation; digital technologies; project optimization*

Вступ. Сучасне будівництво вимагає високої точності у плануванні термінів виконання робіт, гнучкості в управлінні ресурсами та здатності швидко адаптуватися до змін у проєкті. Традиційні підходи до складання календарних планів часто базуються на ручному моделюванні, що є трудомістким, суб’єктивним і не завжди враховує повний спектр чинників, які впливають на хід реалізації будівельного проєкту. У зв’язку з цим зростає потреба в інтеграції цифрових інструментів, зокрема технології інформаційного моделювання будівель (BIM), та цифрових інструментів, які за наявності якісних вихідних даних можуть сприяти автоматизованому формуванню та коригуванню планів будівництва на основі аналізу даних, симуляцій та сценарного прогнозування.

Застосування BIM у поєднанні з елементами штучного інтелекту може суттєво покращити точність управління графіками, особливо у випадках типових об’єктів із повторюваною структурою робіт. Вона зменшує вплив людського чинника та підвищує точність прогнозування. Це особливо актуально в умовах високої конкуренції, загальної урбанізації та необхідності забезпечення сталого розвитку галузі. Однак на практиці ефективність такої інтеграції значною

мірою залежить від якості початкових даних, досвіду користувачів та рівня стандартизації процесів.

Також це актуально для України в контексті можливостей розвитку та відсутності необхідних людських ресурсів для покриття усіх, в тому числі будівельних, завдань в майбутньому. А оцінка ефективності AI-рішень у будівництві потребує не лише технічного, а й організаційного підходу – зміни практик, стандартів і мислення проєктних команд.

Постановка проблеми. Попри наявність потужних інструментів BIM для моделювання проєктів, їх функціонал не завжди дозволяє ефективно автоматизувати процес формування календарного плану. Водночас, існуючі методи штучного інтелекту – такі як генетичні алгоритми, нейронні мережі та машинне навчання – ще недостатньо інтегровані в практичні інструменти для планування будівництва на основі BIM-моделей. Це створює розрив між потенціалом цифрових технологій та їхнім фактичним застосуванням у проєктному менеджменті.

Проблемою є відсутність єдиного підходу до поєднання структури та даних BIM-моделі з алгоритмами оптимізації, що враховують логіку будівельних процесів, технологічні обмеження, ресурси та зовнішні чинники. Таким чином, постає

завдання розробки концептуальної та прикладної моделі, яка дозволяє здійснювати автоматизоване створення календарних планів будівництва на основі BIM-даних із залученням методів штучного інтелекту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Упродовж останніх років спостерігається зростання наукової уваги до інтеграції BIM з інтелектуальними системами управління. Зокрема, дослідження [2–4] демонструють успішні приклади використання машинного навчання для виявлення критичних шляхів, оптимізації розкладів та аналізу ризиків на основі BIM-моделей. Також активно розробляються алгоритми, що дозволяють автоматично генерувати графіки будівництва з урахуванням логічних зв'язків між роботами, параметрів ресурсів та часу.

Водночас, більшість наявних рішень залишаються фрагментарними або прототипними. Вони не забезпечують повної інтеграції з практичними інструментами, які використовуються в будівельних компаніях. Невирішеною залишається проблема забезпечення двосторонньої взаємодії між BIM-моделлю та AI-модулем, що здатен адаптувати календарний план до змін у середовищі проекту.

Упродовж останніх двох десятиліть технологія інформаційного моделювання будівель (BIM) стала основою цифрової трансформації в архітектурно-будівельній сфері. BIM забезпечує створення інтегрованих цифрових моделей, які містять геометричну, фізичну та логістичну інформацію про об'єкт будівництва. Основними перевагами BIM є підвищення точності проектної документації, ефективність комунікацій між учасниками проекту та можливість виявлення конфліктів ще на етапі проектування [1].

Водночас, автоматизоване управління часом у BIM-середовищі (4D-моделювання) залишається переважно ручним або напівавтоматизованим. Календарні плани зазвичай формуються з використанням зовнішніх інструментів (наприклад, MS Project, Primavera), що не

повністю інтегровані з BIM-моделлю. Це створює труднощі у динамічному оновленні планів, ускладнює облік змін і не дозволяє швидко реагувати на затримки.

З огляду на це, дедалі більше уваги приділяється застосуванню **методів штучного інтелекту** для автоматизації планування будівельних процесів. У низці досліджень використовуються **генетичні алгоритми, нейронні мережі, басівські моделі, алгоритми глибокого навчання та підкріплення** для вирішення задач оптимізації графіків [2].

Наприклад, в роботі [2] продемонстрована можливість використання нейронної мережі для автоматичного виявлення логіки виконання робіт на основі BIM-моделі. В роботі [3] запропоновано алгоритм багатокритеріальної оптимізації календарних планів з урахуванням наявних ресурсів, часу і вартості. Дослідження [4] поєднує машинне навчання з симуляцією Монте-Карло для оцінки ризиків затримок у будівництві.

Незважаючи на успішні експериментальні моделі, більшість рішень не мають повноцінної інтеграції з BIM-середовищем або потребують значної ручної підготовки даних. Також існує проблема слабкої взаємодії між структурою об'єкта у BIM (наприклад, ієрархія компонентів Revit) та логікою виконання будівельних робіт. Немає сталого стандарту даних для передачі інформації між BIM і AI-модулем, що ускладнює масштабування рішень.

Таким чином, актуальним є створення прототипу або архітектурного підходу, який би поєднував автоматичне витягування даних з BIM, їх обробку AI-алгоритмами, та повернення оптимізованого календарного плану до середовища візуалізації. Потреба в такій системі зростає в умовах переходу до індустрії 4.0 і прагнення до повної автоматизації управління будівництвом.

Методологія дослідження. Метою дослідження є розробка концептуального підходу та прототипу системи автоматизованого формування календарних планів будівництва на основі поєднання BIM-технологій і штучного

інтелекту. Методологія базується на інтеграції даних з інформаційної моделі будівлі (BIM) з алгоритмами машинного навчання (ML), які здатні генерувати або оптимізувати будівельні графіки на основі історичних шаблонів, логіки виконання робіт та обмежень ресурсів.

Викладення основного матеріалу.

Поєднання BIM і AI в сучасних умовах будівництва дозволяє усунути ключові недоліки традиційного планування, а саме:

- людський фактор при створенні календарних графіків;
- затримки у прийнятті рішень через необхідність ручної обробки даних;

- відсутність зворотного зв'язку між моделлю об'єкта та динамікою виконання будівельних робіт.

Методологія передбачає використання BIM-моделі як єдиного джерела структурованих даних про об'єкт, зокрема: геометрії, обсягів робіт, матеріалів, зв'язків між елементами. Ці дані витягуються, перетворюються в набір ознак для моделі, яка на основі даних формує орієнтовну структуру графіка робіт, що потребує подальшої верифікації спеціалістом. Після цього дані повертаються у BIM-середовище для візуалізації (4D-модель).

Для реалізації методології може бути використано інструменти представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

Архітектура системи автоматизації календарного планування будівництва

Середовище	Функції
Блок 1: Джерело даних – BIM-модель	
Autodesk Revit	<ul style="list-style-type: none"> ○ Формування структурованої інформаційної моделі об'єкта (LOD 300+). ○ Присвоєння параметрів будівельним елементам: категорія, об'єм, площа, матеріал, рівень, ідентифікатори залежностей. ○ Зберігання актуальних даних про об'єкт для подальшої обробки.
Блок 2: Екстрактор даних	
Dynamo for Revit	<ul style="list-style-type: none"> ○ Автоматичний витяг потрібних параметрів з моделі. ○ Групування даних за видами робіт, зонами, послідовністю. ○ Експорт у структуровані таблиці (CSV, Excel).
Блок 3: Модуль попередньої обробки	
Python (Pandas, NumPy)	<ul style="list-style-type: none"> ○ Очистка, нормалізація, кодування даних. ○ Визначення логічних зв'язків між елементами (наприклад, монтаж перекриття після завершення колон). ○ Формування навчального датасету.
Блок 4: ML-модель	
Scikit-learn / TensorFlow / XGBoost	<ul style="list-style-type: none"> ○ Навчання моделі на основі історичних даних або штучно сформованих шаблонів. ○ Прогнозування тривалості операцій, черговості виконання, ресурсних обмежень. ○ Оптимізація календарного плану з урахуванням цілей (час, вартість, ресурси).
Блок 5: Постобробка та зворотна інтеграція	
Python + Excel / Dynamo	<ul style="list-style-type: none"> ○ Перетворення прогнозованих даних у формат, придатний для імпорту до BIM. ○ Генерація 4D-послідовності або зв'язку з інструментами візуалізації. ○ Інтеграція календарного плану назад у Revit або Synchro для валідації.
Блок 6: Інтерфейс візуалізації	
Power BI / Synchro 4D / Revit Timeline	<ul style="list-style-type: none"> ○ Візуальне представлення графіку в часі (4D-модель). ○ Можливість корекції на підставі симуляцій або обмежень. ○ Формування звітності для менеджменту проекту.

Можна окреслити наступні етапи побудови системи.

1. Побудова BIM-моделі типового об'єкта в Revit.

2. Створення Дупато-скрипту для експорту потрібних параметрів у формат Excel.

3. Формування та анотація навчального датасету на основі історичних або згенерованих проектів.

4. Розробка та навчання ML-моделі, яка прогнозує логіку виконання робіт, строки, ресурси.

5. Інтеграція виведеного плану з BIM-моделлю, перевірка за допомогою 4D-візуалізації.

6. Тестування прототипу в умовах лабораторного кейсу.

На основі вищезазначеного сформульована гібридна система автоматизації календарного планування будівництва, яка базується на модульному принципі з чітко визначеними функціональними блоками. Ці блоки забезпечують двосторонню інтеграцію між BIM-моделлю та модулями штучного інтелекту. Архітектура системи побудована як потоково-орієнтована, що дозволяє масштабування та подальшу адаптацію до проектів різної складності (таблиця 1).

Вибір алгоритму XGBoost зумовлений його високою точністю при роботі з

табличними даними та можливістю обробки нерівномірно масштабованих ознак, що властиво для даних BIM-моделей. Дупато використано через гнучкість автоматизації Revit-базованих сценаріїв без необхідності втручання у вихідний код.

Вся система функціонує за циклічною логікою: BIM-модель → Витяг даних → Аналітика/ML → Формування плану → Візуалізація → Зворотній зв'язок. Це дозволяє не тільки автоматично створювати календарні плани, а й вдосконалювати модель у разі виявлення помилок, дефектів або змін у проекті.

Послання BIM та штучного інтелекту створює передумови для переходу до високого рівня автоматизації календарного планування. Водночас, повна автономія в плануванні все ще є малоймовірною без участі фахівця, який здатен інтерпретувати контекст, специфіку об'єкта і зовнішні обмеження.

На рисунку 2 побудовано алгоритм генерації календарного плану за допомогою штучного інтелекту на основі BIM моделі.

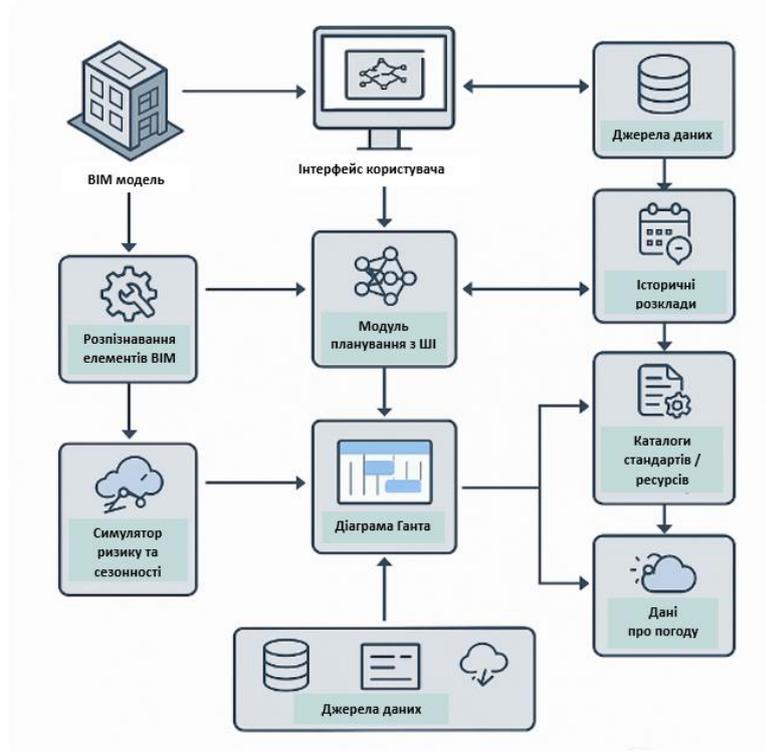


Рис. 1. Архітектура системи: AI-BIM Planner

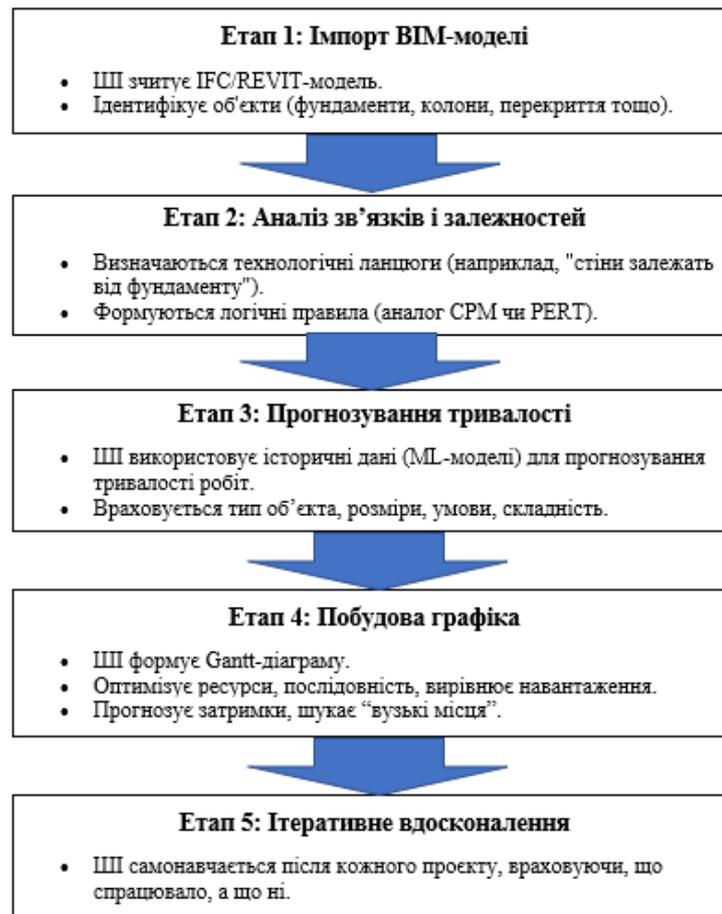


Рис. 2. Алгоритм генерації календарного плану

Таблиця 2

Доступні інструменти для генерації календарного плану

Інструмент	Функції	Використовує AI?
1	2	3
Autodesk Construction Cloud	Планування з BIM, аналітика	Частково (рекомендації)
Alice Technologies	Генерація календарного плану на основі AI	Так
Buildots	Візуальний контроль графіка будівництва	Так
Revit + Dynamo + AI скрипти	Напівавтоматизація календаря	Частково
nPlan	Прогнозує затримки за графіками	Так

Умови, які потрібні для того, щоби створити повністю автономне планування – це повна та якісна BIM-модель; інтеграція з AI/ML-моделлю (через API або скрипти); модулі знань (експертна система або база правил); системи перевірки результату (для людини-контролера); навчання на даних минулих об'єктів (чим більше – тим краще працює).

Можна окреслити наступні переваги такого підходу. Це швидше планування усіх процесів і всього проєкту загалом, це точніші оцінки того, що відбувається. Це менша

кількість помилок, які залежать від людського фактору, це автоматичне оновлення при зміні BIM-моделі. Однак, такі переваги можуть бути нівельовані у випадках нестабільної якості BIM-моделей або неправильної інтерпретації даних AI-системою.

Але слід відмітити що на сьогоднішній час це лише теоретичні розрахунки. Штучний інтелект не має ще повного розуміння будівельної логіки у всіх випадках, до того ж потрібно багато якісних історичних даних для самонавчання. І

наостанок – людина все ще краще відчуває контекст, логіку місця, клімат, ризику.

Приклад сценарію використання: Архітектор створює BIM-модель доступного житла. Завантажує її у систему. ШІ аналізує модель, прогнозує тривалості робіт, формує кілька сценаріїв календаря (наприклад: «швидко», «дешево», «надійно»). Замовник вибирає оптимальний варіант. Будівельна компанія починає будівництво з повним AI-наглядом. У разі змін чи затримок – система перебудовує графік автоматично.

Зазначений алгоритм може бути основою для побудови інтелектуальних інструментів прогнозування тривалості робіт у майбутньому. Це відкриває можливості для використання алгоритмів машинного навчання на основі BIM-даних у поєднанні з табличними інтерфейсами або сценаріями автоматизації.

Висновки

Інтеграція BIM-технологій у процес календарного планування будівництва створює підґрунтя для переходу до цифрових, автоматизованих моделей управління проектами. Запропонований підхід передбачає використання параметрів інформаційної моделі (тип конструкції, обсяг, площа, матеріал тощо) для формування логічних залежностей між роботами та автоматичного створення попереднього графіка будівництва. Це дозволяє зменшити ручну працю, підвищити узгодженість даних і забезпечити адаптивність до змін проектного середовища.

Подібні рішення особливо актуальні в контексті масштабної реконструкції України, де ефективне планування є критично важливим для відбудови житлової та соціальної інфраструктури. Автоматизоване формування календарних графіків на основі BIM-моделей може стати ключовим компонентом цифрових платформ управління девелоперськими або

державними проектами, особливо для типових і повторюваних об'єктів.

На основі проведеного дослідження можна сформулювати такі рекомендації:

- поетапно впроваджувати AI-модулі в існуючі BIM-середовища – починаючи з автоматизації календарного планування, з подальшим розширенням на логістику, ризик-менеджмент та контроль виконання робіт за умови наявності структурованих моделей і достатнього обсягу якісних даних для навчання алгоритмів;

- розширювати бази навчання майбутніх алгоритмів за рахунок типових графіків, даних з ERP-систем і реалізованих проектів для підвищення оцінок тривалості робіт та адаптації графіка до змінних умов;

- стандартизувати структуру даних у BIM-моделях, включно з класифікацією об'єктів, зв'язком із кодами робіт, ресурсами та тривалістю процесів, що є критично важливим для ефективної інтеграції з аналітичними системами;

- ініціювати пілотне впровадження гібридних рішень у реальному середовищі, наприклад, у великих девелоперських компаніях або в рамках державних проектів;

- формувати міждисциплінарні команди, що об'єднують фахівців у сфері будівництва, IT, управління даними та цифрової трансформації – для системного розвитку напрямку застосування штучного інтелекту в будівельній галузі.

Таким чином, інтеграція BIM і цифрової аналітики створює реальні передумови для поступового вдосконалення процесів планування в будівництві. Запропонований підхід може бути використаний як концептуальна основа для подальших розробок у напрямі часткової автоматизації з урахуванням потреб ринку, цифрової трансформації та викликів повоєнної відбудови України. Але він потребує практичної перевірки на реальних проектах для підтвердження ефективності та адаптації до конкретних умов реалізації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Істмен Ч., Техері С., Лі К., Пауелл Дж. Інформаційне моделювання будівель (BIM) : посіб. для буд. фахівців. Київ : Ліра-К, 2011. 492 с.
2. Zhang J., Wang Y., Zhong R. Y. BIM- and AI-integrated framework for automatic construction schedule generation. *Automation in Construction*. 2020. Vol. 114. Article 103146. DOI: 10.1016/j.autcon.2020.103146.

3. Li H., Wu Y. Application of Machine Learning in Construction Planning Based on BIM : A Multi-objective Optimization Approach. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2021. Vol. 147 (8). Article 04021093. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0002109.
4. Chahrour R., Srour F. J., Ajam M. Integration of BIM and AI for Predictive Construction Scheduling. *Journal of Computing in Civil Engineering*. 2022. Vol. 36 (2). Article 04021067. DOI: 10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000987.
5. Пожарицька І. В. BIM-технології в будівництві : потенціал інтеграції з AI. *Будівельне виробництво*. 2022. № 1(103). С. 17–23.
6. Семенюк С. О., Сидоренко В. І. Цифрове планування у будівництві : сучасний стан та перспективи. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*. 2023. Вип. 48. С. 44–50.

REFERENCES

1. Istmen Ch., Tekheri S., Li K. and Pauell Dzh. *Informatsiine modeliuвання budivel (BIM) : posibnyk dlia budivelnykh fakhivtsiv* [Building Information Modeling (BIM) : A Guide for Construction Professionals]. Kyiv : Lira-K, 2011, 492 p. (in Ukrainian).
2. Zhang J., Wang Y. and Zhong R.Y. BIM- and AI-integrated framework for automatic construction schedule generation. *Automation in Construction*. 2020, vol. 114, article 103146. DOI: 10.1016/j.autcon.2020.103146.
3. Li H. and Wu Y. Application of Machine Learning in Construction Planning Based on BIM : A Multi-objective Optimization Approach. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2021, vol. 147 (8), article 04021093. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0002109.
4. Chahrour R., Srour F.J. and Ajam M. Integration of BIM and AI for Predictive Construction Scheduling. *Journal of Computing in Civil Engineering*. 2022, vol. 36 (2), article 04021067. DOI: 10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000987.
5. Pozharytska I.V. *BIM-tehnolohii v budivnytstvi : potentsial intehtratsii z AI* [BIM technologies in construction : the potential of integration with AI]. *Budivelne vyrobnytstvo* [Construction Production]. 2022, no. 1 (103), pp. 17–23. (in Ukrainian).
6. Semeniuk S.O. and Sydorenko V.I. *Tsyfrove planuvannya u budivnytstvi : suchasnyi stan ta perspektyvy* [Digital planning in construction : current state and prospects]. *Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti budivnytstva* [Ways to Increase Construction Efficiency]. 2023, no. 48, pp. 44–50. (in Ukrainian).

Надійшла до редакції: 21.12.2025.

УДК 711.11

DOI: 10.30838/UJCEA.2312.250226.29.1207

КІЛЬКІСНІ І ЯКІСНІ ОСОБЛИВОСТІ ВЗАЄМОДІЇ АРХІТЕКТУРНИХ ТА МІСТОБУДІВНИХ АСПЕКТІВ ТРАНСФОРМАЦІЇ СЕЛІТЕБНИХ ТЕРИТОРІЙ МІСТА

ВОРОБІЙОВ В. В.^{1*}, канд. арх., доц.,
ШИЛО О. С.², ст. викл.

^{1*} Кафедра архітектурного проектування та містобудування, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (068) 424-98-19, e-mail: vivavo151151@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-1539-3196

² Кафедра архітектурного проектування та містобудування, 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) 212-48-80, e-mail: olgashilo2016@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-9869-5474

Анотація. Постановка проблеми. Станом на 2025 рік в Україні, у тому числі в Дніпрі, не проводилися дослідження кількісних та якісних особливостей взаємодії архітектурних та містобудівних аспектів трансформації селищних територій міст. Хоча проблема ця назріла давно: протягом лише кількох минулих років стрімко змінювалася економічна та соціально-демографічна ситуація, військово-політичні обставини та інженерно-технічні можливості, природно-кліматичні умови та психофізіологічні властивості людини. Кожен із перелічених факторів різною мірою впливав і впливає на функціонально-планувальну та об'ємно-просторову структуру селітебних територій. Колишні моделі розуміння суті селітебних територій міста потрібно переглядати і з ще однієї причини – причини генерації нових наукових знань про фізичну реальність не тільки в рамках уже існуючих методик роботи з містом, а й у рамках принципово нових досягнень у галузі знань, які вказують на головне: теорію та практику архітектури та містобудування треба наповнювати новими методами обліку новостворених властивостей середовища. Склад проектних документів – змінювати, у тому числі доповнювати їх новою інформацією, яка має як якісні, так і кількісні характеристики. Назріла потреба розкрити цю проблему та показати, які кількісні та якісні особливості взаємодії архітектурних та містобудівних аспектів трансформації селітебних територій міста потрібно враховувати у теорії та практиці архітектури та містобудування. **Мета статті** – розкрити кількісні і якісні особливості взаємодії архітектурних та містобудівних аспектів трансформації селітебних територій міста для їх подальшого використання в теорії та практиці архітектурно-містобудівного проектування.

Ключові слова: кількісні та якісні особливості; архітектурні та містобудівні аспекти; трансформація; селітебні території; місто

QUANTITATIVE AND QUALITATIVE FEATURES OF THE INTERACTION OF ARCHITECTURAL AND URBAN PLANNING ASPECTS OF THE TRANSFORMATION OF RESIDENTIAL TERRITORIES OF THE CITY

VOROBIOV V.V.^{1*}, Cand. Sc. (Arch.), Assoc. Prof.,
SHYLO O.S.², Assist. of Prof.

^{1*} Department of Architectural Design and Urban Planning, 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 (068) 424-98-19, e-mail: vivavo151151@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-1539-3196

² Department of Architectural Design and Urban Planning, 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 (098) 212-48-80, e-mail: olgashilo2016@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-9869-5474

Abstract. Statement of the problem. As of 2025, in Ukraine, including in Dnipro, no studies have been conducted on the quantitative and qualitative features of the interaction of architectural and urban planning aspects of the transformation of residential areas of cities. Although this problem has been brewing for a long time: over the course of just a few years, the economic and socio-demographic situation, military-political circumstances and engineering and

technical capabilities, natural and climatic conditions and psychophysiological properties of man have changed rapidly. Each of the listed factors has influenced and influences to varying degrees the functional-planning and spatial-volume structure of residential areas. Previous models of understanding the essence of the city's residential areas need to be revised for another reason - the reason for generating new scientific knowledge about physical reality not only within the framework of existing methods of working with the city, but also within the framework of fundamentally new achievements in the field of knowledge that point to the main thing: the theory and practice of architecture and urban planning must be filled with new methods of accounting for newly discovered properties of the environment. The composition of design documents must be changed, including supplementing them with new information that has both quantitative and qualitative characteristics. There is a need to uncover this problem. *The purpose of the article* reveal the simple and clear features of the interaction between architectural and place-based aspects of the transformation of residential areas for their further development in theory and practice architectural and place-based design.

Keywords: *quantitative and qualitative features; architectural and urban planning aspects; transformation; residential areas; city*

*«Наука – це організовані знання. Мудрість – це організоване Життя» (Іммануїл Кант)
«Гарний архітектор як щось у ніщо – в дзеркалках не відображається і міні не відкидає. Він створює свої твори не з фрази «я так бачу» чи «я так вважаю», а із законів природи, БЕЗ АРХІТЕКТОРА ПРОЯВЛЯЮЧИХ МАТЕРІАЛЬНІ ФОРМИ, ЩО УТВОРЮЮТЬ ЖИТТЯ, ОСНОВА ЯКОЇ – ЕНЕРГІЇ ВСЕСВІТУ. Він працює за принципом: форми ще немає, але вона вже є. Форми вже немає, але вона досі є. ВСЕ ЗАВЖДИ Є ТУТ, ЗАРАЗ І В ГАРМОНІЇ».*

Постановка проблеми. Станом на 2026 рік ні в Україні, ні стосовно до умов міста Дніпро, дослідження кількісних і якісних особливостей взаємодії архітектурних та містобудівних аспектів трансформації селітебних територій міста не проводилися. Назріла потреба розкрити цю проблему.

Мета дослідження – розкриття особливостей взаємодії архітектурних та містобудівних аспектів для їх подальшого використання в теорії та практиці архітектурно-містобудівного проектування селітебних територій у місті Дніпро [4].

Аналіз публікацій. Особливості взаємодії архітектурних та містобудівних аспектів для їх подальшого використання в теорії та практиці архітектурно-містобудівного проектування селітебних територій у ході трансформації міста Дніпро пов'язано зі змінами підходів до проекту. Вони виникли внаслідок необхідності переходу на нове розуміння суті міста та з форсмажорними обставинами, що існують зараз [1; 3].

Їхній адитивний перелік такий.

1. Зупинка роботи колишніх промислових і обслуговуючих підприємств і установ, що впливають на індустріальний і постіндустріальний уклад життя міста. Території зупинених підприємств можуть використовуватися для розміщення інших

функціональних зон, насамперед – для селітебної та рекреаційної.

2. Система територіального розміщення малих і середніх підприємств міста, що мають слабкий вплив на економічні процеси, генеральний план 2019 р. не пропонує. Більше того, наприкінці 2025 року судові органи відхилили дію генплану 2019 року. Тому продовжує діяти генплан Дніпра 2017 року, який теж не розкриває проблем, що розкриваються в цій статті.

3. Трудові ресурси міста зменшуються кількісно і якісно.

Генеральні плани Дніпра 2017 та 2019 років, розраховані на мирний час, не передбачали змін у демографії щодо чинника війни.

Все це означає, що потрібно створювати **НОВУ ПАРАДИГМУ СОЦІАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ НАСЕЛЕННЯ ДНІПРА, І АДЕКВАТНУ ЇЇ ПАРАДИГМУ ПРАЦЕВЛАШТУВАННЯ НА ОСНОВІ КОНЦЕПЦІЇ НОВОЇ СТРУКТУРИ ПРОМИСЛОВОСТІ.** Або, узагальнюючи ситуацію до філософського рівня, **ПОТРІБНА НОВА ПАРАДИГМА МЕНТАЛЬНОСТІ ТА МАТРИЦІ РЕФЛЕКСІЙ НАСЕЛЕННЯ МІСТА НА СУЧАСНЕ І ПЕРЕДБАЧУВАНЕ ЖИТТЯ В ОБОЗРІМОМУ (до 20 років) МАЙБУТНЬОМУ.**

4. ПРИРОДНО-КЛІМАТИЧНІ УМОВИ В ДНІПРІ ЗМІНЯЮТЬСЯ У ЗВ'ЯЗКУ З ЗАГАЛЬНИМ ПОТЕПЛЕННЯМ КЛІМАТУ НА ПЛАНЕТІ, а також у зв'язку з входженням планети Земля в новий галактичний сектор після перетину в 2012 році галактичного екватору. Наша планета тепер продовжує політ над цим екватором, а не під ним. Проблема в тому, що вплив космічних факторів у сучасній нормативній базі на містобудування ніяк не враховується взагалі. Як не враховуються і багато інших факторів, описаних вище, і нижче цього зауваження.

Скорочується обводненість річки Дніпро та його приток; пересихають малі притоки Дніпра; скорочується видовий склад екоценозів; змінюється породний склад чагарникових та деревних рослин. Змінюються інші форми життя у просторі міста та навколишніх територій. Все це веде до необхідності вивчити процеси таких змін та зробити розрахунок на їх використання для різних функціонально-планувальних структур у генеральному плані міста Дніпро. Включаючи розробку нових показників по антропогенному навантаженню на таксономічні елементи природних комплексів, що продовжують змінюватися (ВНУТРИЛАНДШАФТНИХ ТАКСОНОМІЧНИХ ЄДИНИЦЬ І ВСІХ ВИДІВ СТРУКТУР ЕКОСИСТЕМ, існуючих на цих таксонах).

Змінюються рівні локації підземних водоносних горизонтів, їх потужність та хімічний склад, що потребує створення нових тематичних мап і за цим фактором, а також осмислення шляхів їх використання для забудови (для визначення нових режимів корозії підземних конструкцій будівель та підземних інженерних комунікацій), визначення підходів до планового стану будівель під час формування забудови на конкретній території.

Посиллюються процеси неотектоніки в скельних породах під четвертинними відкладами. Прискорюється підйом місцевості на одних ділянках та опускання зі швидкістю кілька сантиметрів на рік – на інших.

У генеральних планах Дніпра 2017 та 2019 років не враховуються і такі складні та деструктивні процеси як зростання зон з небезпечними п'єзоелектричними та п'єзомагнітними явищами у ґрунтах, які адитивно утворюють геопатогенні зони – зони, що викликають у людей і тварин, що живуть у будинках на цьому місці, хвороби, включаючи онкологічні захворювання, що ведуть до смерті.

Усі види змін у природно-кліматичних умовах міста та його приміської зони викликають необхідність перегляду підходів до зонування території за функціональним використанням, за типами планування, за типами забудови та її зонування за поверховістю.

ДОДАТКОВА ІНФОРМАЦІЯ РОЗДІЛІВ ПРОЕКТУ ПОВИННА БУТИ ВКЛЮЧЕНО В «Містобудівну документацію «Внесення змін до генерального плану розвитку м. Дніпро», яку виконало ДП «Український державний науково-дослідний інститут проектування міста «ДІПРОМІСТО імені Білокозя» відповідно до договору від 19.04.2019 № 4/4, укладеного з Департаменту по роботі з активами Дніпровської міської ради. Розглянемо те, що необхідно коригувати.

1. Схема розташування населеного пункту в системі розселення. Масштаб 1:50 000.

Повинна бути переглянута [5] та доповнена схемою розуміння ролі поселення не тільки в контексті належності до статусу центру регіональної системи розселення та створення в собі та навколо себе зонінгових явищ – кільцевого, секторного, паралельно-дорожнього та ієрархічно мережевого, що впливають на диференціацію забудови міста за функцією, плануванню, поверховості, підходам до ансамблевості, підходам до обліку забудови минулих періодів історії міста, а також розуміння факторів зміни цих процесів з позиції нової соціально-демографічної структури міста, розуміння моделі прямої та зворотної економіко-планувальної взаємодії функціональних зон, вузлів-центрів цих зон зв'язків між ними в системі «місто-зона його впливу»,

присутності в цій моделі змін у плановому малюнку зон тяжіння вузлів економічної активності міста та його приміської зони одна до одної та до зовнішніх населених місць.

Схему розміщення міста у системі розселення потрібно забезпечити показниками векторів продовження життя міста. Інакше кажучи, у цій ситуації автоматично реалізується принцип: класифікаційний ознака поселення визначає просторову модель його подальшого розвитку. Або інакше класифікація є прогнозом розвитку.

2. План існуючого використання території. Масштаб 1:10 000.

Повинен бути переглянутий та доповнений матеріалами (з відповідними картографіями), що ґрунтуються на нових уявленнях використання території. У колишній парадигмі використання території міста немає великої групи показників у цьому напрямі. Наприклад, показники зв'язку функціонального використання ділянок міста з матрицею сприйнятливості до антропогенних навантажень. Осередки матриці оконтурюються траєкторіями руху речовини, енергії та інформації та мають різні показники адаптації до містобудівних навантажень - у вигляді щільності та поверховості будівель, ступеня агресивності їх функції щодо обмінної місії кожної з осередків залежно від її положення у ланцюжку осередків на пагорбах, на схилі або пологіх ділянках; функціональні зони, що не виконують це завдання, стають деструктивними по відношенню і до людини, і до інженерних систем, і до природних комплексів, оскільки руйнують їх, створюючи не адекватні поля напруженості (обурення) у просторі міста.

На цій схемі потрібно відобразити всі функціональні зони показниками їх відповідності або невідповідності тим обмінним процесам, які відбуваються в природних комплексах.

Друга група відсутніх показників – карта-схема функціонального використання міста з погляду її вписування в плани подальших трансформацій зв'язкових

обмінних матриць природних комплексів як палетки для вписування функціональних зон з погляду потенційних варіантів фізичних змін якостей території у зв'язку із змінами в ендегенних та екзогенних процесах.

Настав час припинити проектувати міста, що розглядаються на умовно статичних орографічних і гідрографічних структурах [6; 7], а також в умовах тимчасово стагнуючих векторів вітрової та водної матриці обмінних процесів. Ми живемо у світі безперервних змін. **ПРОЕКТУВАННЯ МІСТ ПОТРІБНО РОБИТИ НА ОСНОВІ ПЕРВИННИХ МАТЕРІАЛІВ, ЩО ПОКАЗУЮТЬ ВИДИ ЗМІН В ЕНДОГЕННИХ, ЕКЗОГЕННИХ І АНТРОПОГЕННИХ ПРОЦЕСАХ.**

Наукою доведено: в основних законах механіки фізичного світу (включаючи геофізичні та містобудівні рухи) чинника часу немає взагалі. Є фактор ПРОСТОРУ. І ЙОГО ТРАНСФОРМАЦІЇ. У теоріях про народонаселення і його переміщення по планеті важливим є не психологія націй, заснована на часі, а психологія, заснована на переміщеннях по простору. Починаючи від принципу – «будинок – дача – будинок-дача...», і закінчуючи принципом повного переходу на рухливість по регіонах України та по країнах (у яких куплено нерухомість) із циклічними затримками на тій чи іншій території... А також – праця – відпочинок за кордоном, або біля моря. Або життя в одному місці – робота – в іншому. Сама собою глобалізація економіки Миру веде до цього. Проте на мюнхенському саміті глав багатьох країн Світу на початку 2026 року оголошено про кінець епохи глобалізації та початку епохи сили... Світ шукає нову формулу свого майбутнього. І цей пошук болісний. Починається нова фаза глобальної кризи, що б'є по економіці населення всіх країн.

По суті, на карті міста, що відображає розподіл функцій та пов'язаних з ними ареалів проживання населення, потрібно розміщувати інформацію про нові схеми процесів номадичності – добової, тижневої, місячної та річної... А також багаторічної. Ці процеси у місті потрібно моніторити владі. Вони суттєво трансформуються.

Зрозуміло, що в умовах сучасної повномасштабної війни на території України дані щодо населення з об'єктивних причин поки що будуть засекречені.

Це говорить про те, що не всі механізми трансформації міста Дніпро можна розглянути у потрібному обсязі. Тому, по окремих позиціях у цьому питанні може виникнути втрата наукової коректності [2].

Ще одна проблема – при розробці генеральних планів міст циклічність міських процесів, у тому числі з позиції функціонального використання території, поки що не вивчається і ніяк не враховується. Карти функціонального використання території міст повинні забезпечуватись і схемою з розрахунками на терміни ймовірної циклічної зміни функціональних зон.

З позиції морфологічних обрисів генерального плану функціональних зон потрібно виходити з того, що простороутворюючі якості кожного циклу мають свої принципи і правила зміни міста з точки зору його функціональної диференціації. Вони дають вихід на прогноз динаміки та еволюції цих показників. Або, інакше – з прогнозом на їхню оборотність (циклічність або динамічність) та незворотність (еволюційність).

Систему «каркас – тканина» міста і всі відомі зараз принципи диференціації території необхідно перевести в статус нелінійних розрахунків, відмовившись від їх лінійності.

По суті місто потрібно подати у вигляді періодичного закону містобудівних структур, в якому періодичність – це відображення показників періодичності у планувальній інтерференції всіх природних та антропогенних процесів, у структурі якої прораховуються на основі математики стоячих хвиль, з яких складається міський рельєф та елементи гідрографії, з цілком конкретними їх амплітудами, частотами і довжинами довжинами. Тобто враховувати інтерференційні матриці – муари (геометричні фігури Кундта та Лесажа), у осередках яких можна вважати зміни геометрії функціональних елементів міста та пов'язаних з ними планувальних морфотем.

3. Схема існуючих планувальних обмежень та інженерно-будівельної оцінки території. Масштаб 1:10 000.

Повинна бути переглянута та доповнена схемами планувальних обмежень, доповнених рядом нових обмежень, пов'язаних із тими змінами, що перераховані у вищезазначеному пункті 2.

У схемі планувальних обмежень має акцентуватись ідея забезпечення стійкості регіону. Можливо, цю схему варто і переіменувати на схему стійкості інженерно-будівельної оцінки території.

Насамперед мають бути графічно відображені обмеження, що враховують зміни фізичних властивостей території, графічне відображення яких має виглядати у вигляді планогам локації мереж обмінних процесів у природі та суспільстві.

Фізично ці мережі виглядають у вигляді смуг різної ширини і спрямованості, що перетинають один одного, як щодо ліній північ-південь і захід-схід, так і щодо напрямку у просторі по вертикалі.

Вони пов'язані з особливостями астропланетарних взаємодій на всіх масштабних рівнях, пов'язаних із проектуванням генерального плану Дніпра.

Адитивно такі потребні створення картографічної інформації наступного типу:

- схеми впливу на планувальні обмеження та інженерно-будівельну оцінку території потоків руху речовини;

- схеми впливу на планувальні обмеження та інженерно-будівельну оцінку території потоків руху енергії;

- схеми впливу на планувальні обмеження та інженерно-будівельну оцінку території потоків руху інформації;

- схеми впливу на планувальні обмеження та інженерно-будівельну оцінку території я потоків руху імпульсів; всі потоки – різні; форми їхнього впливу на планувальні обмеження теж різні;

- схеми показу впливу на планувальні обмеження та інженерно-будівельну оцінку території генерального плану міста змін (різної динаміки та еволюції) окремих показників таких схем.

Схеми такого роду архітектори не застосовують, але зробити їх легко. Зрозуміло, за наявності попередньо отриманої статистичної та картографічної інформації. Кожна з перерахованих вище схем базується на показниках сітчастоподібних матриць, створених смугами вододілів, тальвегів, смугами переходу кінетичної енергії в потенційну (смуги переходу схилів у горизонтальну низину), смуги переходу потенційної енергії в кінетичну (смуги брустверів балок, смуги брустверів окремих терас річкових долин, ареали переходу опуклих форм пагорбів у їх схилі поверхні, що зміщуються в силу ряду поздовжніх та поперечних берегових ерозійних процесів; зони наслідків акумуляції та перевідкладення донних наносів у руслах), а також інші. Окрему групу становлять вершини пагорбів, що генерують процеси виникнення стоячих хвиль у вигляді форм рельєфу, що возікають з малюнків ітерференційних структур у вигляді взаємопрохідних крізь один одного, кільцевих (сферичних у 3-D трактуванні) хвиль енергетичних напруг, що підпорядковуються ряду числових показників. Тобто завжди пов'язані з математичними рядами різного генези.

Всі вони визначаються на основі формул розрахунку кінетичної та потенційної енергії по відношенню до поверхневого руху речовин. До них прив'язані формули розрахунку ареалів тяжіння населення міста та регіону до різних елементів таких мереж та, відповідно, до місць вибору під різні типи забудови.

Сформована практика проектування генеральних планів містить у собі низку каверз, чи – методичних прорахунків. На схемі планувальних обмежень показані процеси, які завжди адекватні об'єктивним законам у природі та суспільстві. Але їх приймають як за вихідну даність і транслюють у найближче майбутнє. Первинні прорахунки та помилки формують вторинні, третинні та наступні прорахунки та помилки. Але їх сприймають як важливі та доведені.

У той час як на схемі планувальних обмежень необхідно мати показники відхилення від первинних процесів. З рекомендаціями, як їх усунути у новому генеральному плані. Саме у цьому полягає робота над такими схемами.

Діюча практика роботи з генеральним планом Дніпра базується на обліку не причин, а наслідків, які, як не дивно, оголошують все-таки причинами. Закони термодинамики до формоутворення генерального плану міста насправді показують найважливіший момент – прагнення будь-якого формотворчого процесу до ентропії, до свого саморуйнування. Архітектори повинні знати, що треба робити з плануванням на основі термодинаміки. Щоб виправити цей прорахунок і потрібно згадати закони термодинаміки, закони фізики, зокрема закони мереж, у природі та суспільстві.

Саме вони визначають усі види соціальних та матеріальних (містобудівних) структур. А не мережі, вигадані сучасними містобудівниками. Тоді пелена оману відразу зникне, і всі процеси у формоутворенні генерального плану міста будуть названі своїми іменами.

Слід зазначити, що західна економіка давно навчилася вважати мережеві процеси, як і їх трансформації. Це лягло в основу концепцій, закладених у проектах «НОВОЇ АРХІТЕКТУРИ МАЙБУТНЬОГО» (нового соціального устрою світу).

Монографій на такі теми, написаних відомими фахівцями Європи та США, досить багато. Проблема в одному: якимось не хочуть до них придивитися в Україні.

4. Генеральний план (основне креслення). Масштаб 1:10 000.

Повинен бути переглянутий за підходами та доповнений матеріалами, що розкривають шляхи трансформації елементів генерального плану під схеми відповідності матрицям обмінних процесів у природі та суспільстві.

Фактично такий генеральний план поетапно перероджуватиметься в генеральний план не технократично екологізованого, а симбіотично

екологізованого міста з енергоінформаційною стійкістю його елементів. Чого раніше не створювалося.

Принципи симбіотичності в архітектурі – явище, засноване на кількох базових принципах виникнення симбіотів (мутало-, коменсало- та інших типів) як у біології, так і в соціумі, а потім – в архітектурі та містобудуванні. І взагалі, у всьому світі систем загалом. А також у світі надсистем та гіперкомплексних систем. Іншими словами, містобудування підійшло до етапу, сутність якого виводить нас із загальноприйнятої системності, що базується на законах термодинаміки, що говорять: будь-яка система (у тому числі і генеральний план міста) одного разу виникнувши, завжди прагне свого саморуйнування, до зовсім інших законів, пов'язаним із сучасними уявленнями про простір та час, включаючи нове розуміння простору та часу в архітектурі та містобудуванні.

Сказане означає таке:

– окремі функціональні зони повинні переводитися в стан резонансної відповідності за своєю геометрією, площею, становищем на рельєфі, навантаженням на біотичні та абіотичні компоненти місцевості, за циклами динаміки та еволюції спеціально підібраним для їх функції осередків матриць обміну речовиною, енергією, інформацією та імпульсом на території міста;

– елементи планувальної структури «каркас – тканина» повинні поетапно трансформуватися у новий вид мереж, що збігаються з морфологією планового накреслення сітки обмінних смуг у природі, а також зі швидкістю її трансформації, що проєціюється на багатовекторні та багатовимірні зміни всіх соціальних та містобудівних процесів у Дніпрі.

Головна проблема перекладу функціональної та планувальної структури міста Дніпро в тому, що колишні сітка вулиць і мозаїка плям функціональних зон, що складаються протягом кількох століть, стають гальмом для впровадження запропонованої нової моделі трансформації міста [4]. Саме цей фактор слід

продовжувати досліджувати далі, щоб знайти потрібні рішення.

Оскільки для людини як біологічного виду домінує фактор простору, а не фактор часу, то геометрія простору як об'єкт роботи архітекторів-містобудівників має розглядатися з нових позицій генези формоутворення. Ключовою тезою при такому підході до дослідження геометричних абрисів матеріальних об'єктів (включаючи форми планувальної структури генерального плану міста) є, за В. В. Воробйовим, наступне правило: будь-яка матеріальна форма у фізично вираженому світі Землі та будь-якої іншої планети, є структуроутворююча реакція речових та енергоінформаційних потоків на динамічне (циклічно оборотне) та умовно еволюційне (незворотне, хоча насправді це теж динамічне, але в рамках великих етапів трансформацій у просторі) поєднання векторів сил, що діють у тих чи інших діапазонах просторового континууму в заданих системах координат, частот і імпульсів та целепокладання (місії), а також моделей прямих і зворотних зв'язків з будь-якими іншими заповнювачами. В тому числі їх внутрішніми низхідними та висхідними редуційними проєкціями матриць з просторів з вище та (або) нижче числом вимірювань, що йдуть. Адитивний ефект впливу сил визначає фізичну, фізіологічну та психологічну трансформацію організму людей та будь-якої антропогенної структури (будівель, населених місць), які вони створюють.

У функціонально-планувальній структурі міста пропонується розглядати механізми проєкції явищ Всесвіту, опущених на конкретну точку місцевості на Землі. Або, інакше, за пропонованого підходу міста знову, як колись, стануть частиною космосу. Вони перетворяться на космічні астропланетарні проєкції екзогенних сил Землі, які існують у симбіотичній зв'язку з ендогенними силами, ставши якимось цілим. І в цьому випадку спрацює базове правило: міста (або сільського населеного пункту) ще немає, але воно вже є; міста вже немає, але він, як і раніше, є.

Іншими словами, за такого підходу геометрія форми не залежить безпосередньо від людини. Вона вже існує у своєму частотному діапазоні. Який візуально може бути видимим, а може й ні. А ось її візуальний прояв є завданням людини. І тут не людина є архітектор. Архітектор – сам Космос. Більше того, згідно з одним із принципів квантової механіки варіантів генплану міста в конкретному місці безліч, але кожен варіант підпорядкований своїм геометричним законам.

За такого підходу **генеральний план міста слідств перетворюватиметься на генеральний план міста причин**, якщо на цей процес подивитися з позиції філософського узагальнення. Тобто треба піднятися над системою, вийти із неї. Однак теорію надсистемного проектування міст тільки належить створити.

Перелічимо ще групу змін, якостей простору, які тепер впливатимуть на трансформацію генерального плану міста:

- збільшення щільності розривних структур в архейських граніто-порфірах під містом; це веде: до зміни планового малюнка зон напруг у ґрунтах та видів їх впливу на конструкції та на людей;

- зміни принципів розташування будівель на території міста та його окремих ділянок; зміни принципів призначення висоти будівель та щільності забудови; а також принципів призначення планувального малюнка міста та його структурних частин загалом;

- зміни малюнка впливу астропланетарних проєкцій – особливих, що нагадують сітки, пов'язані з фрактальними принципами відображення орбітальних проєкцій на поверхню Землі, структури, на всі біотичні процеси та об'єкти, включаючи людину; астропланетарні проєкції утворюють на земній поверхні стоячі енергоінформаційні хвилі, що у 3-D перетворюються в основу для визначення геометрії будівель, геометрії житлових структурних утворень та правила їхнього взаєморозміщення;

- посилення впливу на біоту наслідків зміни кута нахилу земної осі в результаті її

прецесії (ці зміни хоч і не великі, але тут кожен півградуса зміни нахилу Земної осі кардинально змінюють структуру екосистем, і всі форми впливу енергоінформаційних полів місцевості на людей, на їх сприйняття простору на зміни їх переваг у геометричних типах будівель, типах симетрії – асиметрії, масштабі простору та всіх інших характеристиках природного та антропогенного середовища, які існують у цей час на планеті в цілому);

- загальне підвищення частотного діапазону функціонування планети Земля у зв'язку з переходом у 2012 році галактичного екватора (подолання точки галактичної конвергенції), що також змінює пріоритети в рефлексіях людей на архітектуру, містобудування та природні системи конкретної території;

- підвищення показників космічної радіації, що приходить на поверхню Землі, що почало викликати мутації в організмі людини і в організмах всіх інших форм життя, що є в цей момент на планеті; мутації змінюють моделі мислення, моделі реакцій на світ, потреби в геометрії просторів (природних та архітектурно-містобудівних) іншого, ніж раніше, типу;

- активізація під містами, в першу чергу великими і найбільшими, так званого чорного шуму, який непомітно і не нав'язливо руйнує живий організм, накладаючись на енергопольові структури будівель, форм рельєфу місцевості, форм водних об'єктів (річок, озер та інших) та форм навколишніх нас живих організмів; адитивний ефект їхньої взаємодії призводить до принципово нових типів реакцій людини на середовище, таких, яких колись люди не відчували; оскільки все йде малими «дозами», ці процеси найчастіше люди не відразу помічають, але з часом це виявляється; у фізиці є таке поняття: «слабкі взаємодії» і «слабкі далекодії», тобто через непомічені впливи на людей.

Але саме вони і впливають на ядра клітин людини та викликають у них певні трансмутації чи руйнування; вони ж змінюють фізичні властивості будівельних матеріалів, будівельних конструкцій, форми

та види впливу сіток вулиць, площ та будівель на біотичні процеси у місті. Практично це нове явище та його потрібно вивчати. Воно також, як і всі перераховані тут зміни, суттєво визначає підходи до формування нового містобудування та нової архітектури будівель та споруд. Підвищення активності і навіть зміни діаграм спрямованості випромінювань, званих «полями форми», створюваних будівлями, спорудами та сітками вулиць населених місць (наприклад, сітками житлового району міста, сітками мікрорайону в цьому житловому районі та іншими структурами), які завжди в архітектурі минулих епох враховувалися, потім перестали братися до уваги, хоча їх дії нікуди не зникли. Нині вони повністю змінюють як форми своєї геометрії у просторі, так і форми впливу людей і антропогенні об'єкти.

Зв'язок майбутньої функціональної та планувальної структури генерального плану міста Дніпро з ієрархічно вкладеними один в одного багатовимірними структурами обмінних процесів у космопланетарної екосистеми, в основі якої – та енергоінформаційні матриці простору – базові. Ці структури пульсують та змінюються на основі своїх циклів. Циклів також багато.

Для трансформації **міста наслідків у місто причин** необхідне виконання таких умов.

1. Розташування міст-сателітів щодо міста Дніпра, розташованого у вузлі глобальної енергомережі вищого рівня, має підпорядковуватися параболічній функції зміни потужності геопольових мереж. У ході утворення агломераційних процесів міста зближуються з обласним центром за параболічною функцією, народжуючи явище «планувального руху». Потім на лініях зближення відбувається злам, і крива осей сходження міст дещо змінює свій напрямок. Закономірно змінюється і висота умовного енергоінформаційного фантому над містом як елемент системи розселення в цілому.

У західних (щодо міста-центру) ареалах міст діють фантоми = 4 умовні одиниці. На схід вони знижуються до 4/10 – 6/10 одиниць.

В цілому цей ряд міст навколо міста Дніпро, як і будь-який окремих генеральний план міста – це антропогенні ґрати, що лежать на землі (утворюють систему «місто – зона його впливу – не плутати з системою «місто – приміська зона» – це дещо інше явище) народжуючи явище «Планувального руху» зі складною геометрією поверхні, утвореної вертикально стоячими елементами змінної висоти (будівлями та спорудами), яка поводить по відношенню до всіх обмінних процесів на Землі як дифракційна ґрата з усіма фізичними наслідками впливу на людей. У місті Дніпро у структурі таких ґрат кількість енергетично значущих рядів 12.

2. У структурі генерального плану Дніпра існує « π -числовий резонанс»: відношення розмірів головних силових ліній землі, які поступово перетворюватимуться на найважливіші планувально-композиційні осі міста – обласного центру та його системи розселення, дорівнює $3,5 / \pi + \pi / 10 = 3,456$, що показує залежність планувальних структур міста та його оточення від числових рядів А. В. Піотровського, хвильові процеси формоутворення якого відображені у формах рельєфу; при цьому самі по собі такі «планувальні хвилі» визначаються на основі аналізу зон впливу опуклостей (пагорбів), які є осциляторами (генераторами) «кільцевих» (насправді – сферичних у тривимірному вираженні, а не на умовній складно вигнутій поверхні-площині) стоячих хвиль, які перетворюються на засоби прояву нових планувальних структур (міста ще немає, але воно вже є).

3. Головні радіальні елементи міста Дніпра пов'язані певним чином із глибинними розломами А. В. Пейве. Вони виражені через форми рельєфу. Кожна така смуга характеризується аномаліями магнітного та гравітаційного полів, тепловими потоками, підвищеною мікросейсмічністю та іншими ознаками.

У найбільш узагальненому вигляді розломи А. В. Пейве утворюють на регіональному та міському рівні енергоінформаційну сітку С–Ю, З–В, СЗ–ЮВ, СВ–ЮЗ. З погляду фізики процесу це регматичні сітки, оскільки вони пов'язані

з глибинними процесами, що мають ротаційну природу.

Велике значення при цьому мають смуги, утворені лініями двох напрямків: $SZ = 305$ градусів, $CB = 20$ градусів.

Для Дніпра треба збудувати також і новий духовний каркас. Старий вже втрачає актуальність, бо сітки силового каркасу Світобудови створюють на Землі нові астропланетарні проекційні малюнки. Силовий каркас Космосу стає іншим.

«Поля Духа» традиційно пов'язані з окремими місцями на Сітці Духу, смуги якої в місті Дніпро мають відхилення від меридіана.

4. Життєво важливі планувальні вузли на регіональному рівні та в масштабі генерального плану Дніпра розподіляються за ритмом ранжування енергонасичених вузлів. Для розрахунку цих процесів на рівні генерального плану Дніпра має використовуватися 31 паралель у Північній півкулі.

Нею йдуть прив'язування що до енергоінформаційних реперів через кожні 18 градусів від нульового (Грінвічського) меридіана. У середині кожного 18-градусного відрізка існує дроблення на 2, ще на 2, і так до 7 рівнів дроблення. Цього достатньо для аналізу планувальних процесів у структурі генерального плану Дніпра нового типу в межах кількох кілометрів і навіть менше, у межах мікрорайону та житлових груп, якщо використати метод екстраполяції.

5. Кардинальні зміни енергоінформаційної структури у планувальній матриці Дніпра змінюються через кожні 72 роки, підкоряючись впливу такої астропланетарної проекції, як проекція прецесійного руху земної осі. 72 роки відповідає одному градусу прецесії.

Градус прецесії впливає як на зміни якості міст, так і на життя людей.

Знаючи градус прецесії земної осі, можна визначити принципи нової забудови та принципи зміни у плануванні міста Дніпра. Це відповідатиме об'єктивним композиційним фармаціям міста причин, що виходять із гніту міста наслідків.

Мікро- та макроцикли зміни такої енергоінформатики міста визначаються зменшенням або збільшенням прийнятої ієрархічної одиниці середовища у 3,5 рази. Це і буде об'єктивним терміном дії генерального плану як структури, що має конкретну енергоінформаційну програму.

6. Частотний крок елементів планувальної структури міста Дніпро при переході на нові принципи має співпадати якісно з частотним кроком гармонік коливань серця людини, що дорівнює кореню квадратному із «золотої пропорції».

Самі по собі ці коливання (синусоїди розподілу якостей та властивостей забудови та планування структурних елементів міста) будуть когерентними шуманівськими резонансними коливаннями Землі та її силових енергоінформаційних мереж, а ті, у свою чергу, коливанням (биттям) Сонця.

Безперервний і взаємопов'язаний ряд «Сонце – Земля – людина – планувальна структура його антропогенного середовища» є симбіоз природного середовища.

«Золотий перетин» при цьому (не плутати його з декартовою системою координат, тобто з ортогональним координатами в генплані, бо тут йдеться про афінну систему) при цьому дорівнює $7/5\pi/3e$, де e – число Непера.

7. Просторовий розподіл топологічних малюнків планувальної структури генплану Дніпра вже зараз певною мірою (яку в майбутньому потрібно остаточно виявити морфологічно) відповідають топологічному малюнку адитивних та мультиплікативних процесів хвильової структури геодинамо, що виражено в морфоструктурі та в морфоскульптурі орографії його території. Кількісно це поверхневі хвилі у рельєфі (як візуалізація стоячих хвиль у енергоінформаційному діапазоні). У ***разі повного морфологічного аплікування сітки генерального плану на стоячі хвилі місто почне перероджуватись у природно-антропогенну систему симбіотичного типу***. Кількісно поверхневі хвилі описуються арифметичними прогресіями з коефіцієнтами « e » (основа десяткового логарифму), « π » і « π/e ». А внутрішні хвилі –

геометричними прогресіями з тими самими коефіцієнтами, оскільки внутрішньоземні (ендогенні) процеси виявляють свою енергію прямо пропорційно квадрату відстані від джерела імпульсу.

Візуалізація кілець впливу вузлів у містобудівній системі «каркас – тканина» у генеральному плані Дніпра також підпорядковується цьому правилу. Як і поляризаційні явища в системі «Дніпро – його приміська зона».

8. Вертикальне (за відмітками рельєфу) розподіл елементів планувальних структур у генеральному плані Дніпра при переході у статус симбіотичного міста збігатиметься з відомими висотами рельєфу по енергоінформаційних переходах: 1; 3; 33 і так далі. Тут кожне число більше попереднього в 3,14 рази, що відповідає хвильовому генезі морфотем і може бути названо «планувальним законом числа π ».

9. Крім «мережевого закону просторової топології планувальних структур» на рівні генерального плану Дніпра виявлено ланцюжки прихованого виду, діаметри яких становлять ієрархічні ряди у вигляді геометричних прогресій з коефіцієнтом пропорційності 1,618 та корінь квадратний з 1.618 (принцип подібності). Число 1.618, як відомо, є «числом золотого пропорції» або «золотого перерізу». Застосувавши правило «рівності подібного» до цього числа, знаходимо $1,62 + 1,62/10 = 1,78$. Подвоєна подібна десяткова гармоніка дасть значення 3,56, що буде потрібно в нижченаведених викладках щодо структурування морфотем Дніпра як «міста причин», що виводиться з «міста наслідків». Хоча все має бути навпаки: місто слідств має виводитися з енергоінформаційного міста причин.

СПОЧАТКУ – ПРИЧИНИ, ПОТІМ – СЛІДСТВА. Це – закон дуальної логіки. Закони не дуальних просторів, вкладених в інших частотах у наш світ, – інші. Вони описані у квантовій теорії.

Наш простір як предмет діяльності архітектора, зовсім не такий, як ми його собі у повсякденності уявляємо. У ньому існують простори в інших частотах, діапазонах,

вимірах. Їх можна виявити в нашому світі, а можна і не чіпати.

Достатньо швидкі зміни фізичних властивостей нашого світу, що почалися в 90-ті роки 20 століття, неминуче в найближчому майбутньому викличуть потребу перейти на нову архітектуру і на нове містобудування як явища людської цивілізації.

10. Попередні позиції дають пояснення та обґрунтування сакраментального та раніше не описаного в літературі, присвяченої теорії містобудування, питання: що ж вважати **мінімальним планувальним модулем** (навіть якщо врахувати, що кожного разу в кожній конкретній ситуації він буде свій)? Виконавши подібно до кінцівки п. 9 ту ж саму процедуру для « π -числового резонансу» планувальної структури міста, отримаємо значення одиничної подібної десяткової гармоніки 3,46. Середнє значення для коефіцієнта інтегральної «планувальної хвилі», базисної для міста, що складається з « π -хвилі» (першої гармоніки) та « ϕ -золотої хвилі» (другої гармоніки) дає значення коефіцієнта пропорційності, що дорівнює «новій константі», що дорівнює 3,5.

Іншими словами, при такому підході в структурі генерального плану міста панують три типи залежностей: π -планувальні хвилі = 3,14; ϕ -планувальні хвилі = 1,618; ϕ - π – планувальні хвилі = 3,5.

Простежуються також додаткові е-планувальні хвилі з коефіцієнтом пропорційності = 2,72.

Ці коефіцієнти суть константи взаємодії планувальних структур. Вони є масштабними характеристиками взаємодій морфотем орографо-гідрографічних і антропогенних (планувальних) структур у генеральному плані міста. Зміна масштабу взаємодії «елементарних» планувальних структур має призводити до зміни цих констант.

11. Генеральний план Дніпра слід розглядати як дифракційну решітку двонаправленої дії щодо прийому та трансформації радіаційного випромінювання, що йде як з надр планети,

так і з глибин космосу. Городянин у такому місті-дифракційному «театрі» сам є одночасно і глядачем, і постановником, і виконавцем, маніпулюючим космічним (екзогенним) та земним (ендогенним) випромінюванням.

Структура генерального плану Дніпра пов'язана також з метрикою хронона. Хронон – матеріальна частка часу, прийнята зараз у науці в ряді приватних теорій. Він дорівнює $3\pi^2 + 4e^2/2$ за теорією хронального поля академіка Козирева.

Хронон пов'язані з енергіями синодичних періодів Місяця, Нептуна і Плутона, які створюють свої астропланетарні проекції на Землю. Використовуючи аналогію далі, можна стверджувати, що космічна гармонія генплану Дніпра, яка підпорядкована числу π , найбільш точно буде втілена в 31,5 структурно-планувальній системі елементів, що відповідає з точністю до 8 % числу 3,14 помноженому на 10.

Цей момент чи не головний «золотий ключик» для відкриття «дверей» гармонії планувальної структури Дніпра. У запропонованому розумінні шляхів трансформації міста будь-яка планувальна негармонічна мелодія його генплану через певний проміжок часу має набути гармонійного стану або стану планувально-хвильової періодичності, підпорядкованої зазначеному правилу. Або інакше виявляти періодичний закон планувальної структури.

Архітектор створює форми на основі колосального браку знань про видимий їм семикольоровий 3-D світ, який насправді більш багатомірний і живе зовсім за іншими законами, ніж відомо звичайним людям.

Зараз обмежимося тим, що будь-який генеральний план міста, включаючи Дніпро, з позиції енергоінформатики, це набір мультиплетних ґрат у вигляді сіток вулиць. Застосовуючи алгоритм приведення хаотичного розподілу планувальних тем у структурі генерального плану Дніпра до гармонії, отримаємо: $3,142 + 2,722 + 3,142 = 27$ або $10e$.

12. При подальшій трансформації планувальної структури Дніпра вона виявиться принципово не дієздатною, якщо

не буде заснована як на інших вище наведених числах, так і на так званому платоновому числі. Згідно з ним, створена планувальна структура міста може досягти своєї досконалості лише при досягненні рівномірної або «рівносторонньої», «квадратної» гармоніки. «Довгасті» числа висловлюють нерівномірність, неправильність розвитку генерального плану. Образно кажучи, музика безмовності генерального плану, це музика проєкцій небесних сфер на цю територію.

Наразі мелодії небес змінюються. Оскільки планета Земля, піднявшись над галактичним екватором у 2012 році, увійшла до сфери впливу нових енергій, нових космічних сіток, ця мелодія має для Дніпра писатися наново

13. Ієрархія просторів та ієрархія порядків складності планувальних структур, що трансформуються на основі вище наведених принципів, що існують у містобудуванні та регіональному плануванні, визначатиме розбивку загальної структури на дискретні групи з відповідним формотворчим підходом. У кожній з таких груп будуть «улюблені» та «заборонені» енергоінформатикою процеси. Інтервали між групами підкоряються деякому статистичному закону під назвою «переважний лінійний розмір блоків у кожній групі на підставі «улюбленого розміру». Він завжди приблизно втричі більше і менше таких у сусідніх групах

14. На рівні системи «місто», «місто-зона його впливу», як і на рівні регіонального планування загалом планувальні структури узгоджуються з ієрархією кільцевих енергоінформаційних структур С. С. Соловйова. Він діє і в рельєфі, через комбінаторики орографічних структур. При цьому в генеральному плані Дніпра видно асиметрію планувальних структур, на кшталт «антиформність – інформність».

15. Внутрішнє наповнення кільцегамії планувальних структур має тенденцію до прояву вихроподібності за системою вихрових структур Лі Си-Гуана, А. Кера та О. П. Слензака. Крім того, виявляються і сегнерові структури, що поширюються з

Дніпра на регіональний простір навколо нього, через що впливають на закономірності структурування територій і на цьому рівні.

16. Синкліт планувальних властивостей п.п. 13-15 формує ефект симетрії-антисиметрії. Антисиметрія в нашому випадку, це не відсутність симетрії (асиметрія), а протилежна, як би вивернута навиворіт симетрія. У ній виявлено залежність: усі повороти планувальних структур на кратний 30 градусів кут демонструватимуть найрізноманітніші збіги та накладення відповідно до морфоструктури та морфоскульптури рельєфу території, що може бути названо закон структурно-планувальної гомології у містобудуванні.

17. Дифракційна решітка генерального плану стародавніх поселень регіону на перших етапах своєї еволюції поводить як просторова антена, що транслює псігогенні поля міського соціуму по векторах, що визначаються діаграмою спрямованості її випромінювань і максимально концентрується на енергоінформаційних каналах регіону. Іншими словами, в цій схемі поселення автоматично гармонійно впливає на підлеглі йому простори. У такому просторі (у вигляді багатопелюсткової розетки з різною якістю пелюсток), що існують в Дніпрі, а також прилеглих до нього територіях, виявляються найбільш характерні планувальні структури-вібратори як важливі частини такої антени. За аналогією з радіотехнічними антенами вони умовно представлені наступним рядом: петлеві (або шлейф-вібратори); подвійні петлеві вібратори; образні антени; подвійні вібратори зі змінною діаграмою спрямованості; багатодіапазонні антени; антени з перемиканням основного напрямку випромінювання; антени – «подвійний квадрат», тощо.

Антенуюча на основі таких форм морфосітка генерального плану Дніпра буде об'єктивним (симбіотичним) елементом космопланетарних зв'язків у регіоні. У той час як сучасний генплан Дніпра не має такої симбіотичності.

Енергоінформатика простору антенуючого міста корелюватиме і з

людиною. А не руйнуватиме його, як це робить сучасний генеральний план Дніпра.

Морфологічний тип антенуючої решітки генерального плану міста відображає відповідну групу проєкцій енергоінформатики вище частотних діапазонів, що йдуть, в діапазон даної геометричної форми планувальної структури міста. Зміна морфології планувальної сітки змінює проєкції частот вище. Які, у свою чергу, змінюють мікромоторику та моторику рухів людини, її ментальні орієнтири, рефлексії на комунікації у просторі міста та багато інших її поведінкових реакцій. Включаючи формування переваг до форм архітектури та якостей міських просторів з позиції співвідношення симетрій-асиметрій, малих та великих розмірів, орієнтації щодо сторін світла, масштабу, метра, ритму та інших композиційних якостей. Узагальнюючи, можна стверджувати: тип геометричних форм та генплану та забудови міста визначає шляхи розвитку чи деградації його мешканців.

Не має значення, з якого матеріалу створено місто чи будівлю, але має значення його геометрична форма.

Вона пов'язана з фізикою світу причин, тобто з енергоінформаційним діапазоном.

18. Історико-генетичний аналіз процесу послідовного антропогенного заповнення вихреподібних планувальних структур регіону, тим чи іншим способом проєктують себе в структуру генерального плану Дніпра, показує значної ролі ефекту правосторонньої стимуляції погляду, званого ефектом Джиббсона, який, генетично, впливає з матриць впливу сили Коріоліса, сили, народженої обертанням Землі. У тих місцях міста, де цей принцип не виконується, є численні проблеми різного генези.

19. Асоціація планувальних елементів, що формують генеральний план Дніпра, через обсяги будівель, що окремо стоять, створюють ефект порожнинних структур, диференційованих по вертикалі на певні енергоінформаційні зони, кожна з яких різко відмінна за характером впливу на здоров'я та психіку людини по відношенню до впливів сусідніх, вище і нижче розміщених

енергоінформаційних зон, що йдуть. Іншими словами, енергоінформатика кожного поверху має свою форму впливу на людей.

20. Геометрія форми рельєфу обурює, що простір міста, що прагне до геометричної симетрії. Вона обурює об'ємну кристалічну структуру регулярних ієрархічних мереж енергоінформаційного (силового, причинного) каркасу Землі. Це обурення виявляється у формуванні над конкретною місцевістю активного енергоінформаційного контуру з елементів таких мереж. Обурення створює невидимий звичайним стереометричним зором людей, зором семиколірної ділянки шкали електромагнітного спектра, з осередками, контур міста. Його геометрія пов'язана як з кристаломорфністю, так і з біоморфністю. Пов'язана з параметризмом, але не будь-яким, а таким, що виникає на основі біонічних формутворень у просторі як систем реакції на адитивність тих чи інших векторів впливу сил у даному місці. Він і повинен розглядатися як основа для формоутворення абрисів та розмірів окремих будівель та споруд міста при його переході у статус симбіотичного міста, міста гармонійно вписаного у систему мереж космопланетарної екосистеми.

Архітектурні форми в даному випадку виводяться з невидимого людиною діапазону у видимий, з урахуванням вище зазначеного принципу: будівлі ще немає, але вона вже є.

«Невидимий» силует обурення простору ієрархічний. На кожному ієрархічному рівні (масштабі) простежується ідея подібності форм. Абрис форми нижнього рівня повторюється у формах вище рівнів, що йдуть. Але цей принцип проявляється лише в ситуаціях, коли пошук форм будівель йде в тому самому діапазоні.

Якщо ми дивимося на ситуації в контексті ефекту антенності, тобто ефекту опускання вищих частот на частоти фізичного світу на земній поверхні, то тут проявляється формоутворення іншого типу: перехід частот означає, що кожній частоті відповідає не подібна геометрична форма об'єкта, а форма, яка народжена цією

частотою. Скільки шарів переходів за шкалою електромагнітного спектру пройде імпульс, стільки самостійних за абрисом геометричних форм невидимих будівель він створить у просторі. Кожна частота породжує свою геометрію об'єктів. Накладену одночасно на принцип віддзеркалення форми в просторі з відповідною геометрією.

Поляризаційні обурення геометрії простору завжди пов'язані з явищем стоячих хвиль у тривимірному просторі на рівні генерального плану міста. Про це вже сказано вище. Малюнок стоячих форм виявляє ефекти інтерференційних збурень простору та відповідних планувальних структур у складі генерального плану міста.

Кожній ділянці електромагнітного спектра відповідає своя геометрична форма простору. Або об'єкта. Вона створює своє функціональне завдання для людини, свої рефлексії людей.

Через підпорядкування режиму активності ґрат енергоінформаційного (силового) каркасу і регіону, і планети в цілому, підпорядкування космопланетарним циклам, виникає правило: кожен ієрархічний рівень (енергоінформаційний ландшафт «обурених кристаломорфних та біоморфних фігур») корелює із соціальними циклами розвитку міського соціуму Дніпра.

Звідси, ґрунтуючись на вище висунутій ідеї просторово-часової відповідності елементів урбанізованого ландшафту міста елементам природного середовища встановлено, що як в умовах абсолютно неексплуатованої раніше території для будівництва нового поселення або його частини, архітектурний задум яких ще тільки належить вирішувати, так і на територіях, що реконструюються по енергоінформаційному силуету місцевості, відразу можна визначити силуети майбутньої забудови для кожного історичного періоду міста в минулому, теперішньому і майбутньому.

Цілком очевидно, що з тих часів, коли архітектори відійшли від цього принципу, і стали проектувати об'єкти на свій «лад» (не плутати з гармонійним ладом, що дає правильну архітектуру), можна провести і

спеціальне дослідження, в якому для кожного циклу функціонування енергоінформаційного каркасу місцевості існують два варіанти забудови: перший – відповідний гармонійному порядку; другий – за фактом, побудований як такий, що не відповідає «музиці небесних сфер».

Таким чином, на етапі передпроектного аналізу території, а потім і на етапі проектування, потрібно вводити новий вид діяльності – планифонічний аналіз та планифонічне (ладне, космоладне, тобто на основі космічного ладу, ладу як виразу гармонік, тобто синусоїдальних коливань, вкладених один в одного за гармонійними залежностями) проектування міста. Силует та планування міста Дніпро мають відповідати силуету та структурі енергоінформаційної. Тим самим збережеться екосистемна безперервність процесу прийому, переробки та трансформації з подальшою передачею по мережах, речовини, енергії, інформації та імпульсу (цілепокладання). Питання про те, що розуміти стосовно архітектури та містобудування під термінами «речовина», «енергія», «інформація» та інші, потребує окремого розгляду.

21. Під час трансформації генерального плану Дніпра слід враховувати ефект пам'яті колишніх будов у вигляді точної енергоінформаційної копії знесеної будівлі. Тобто вдома вже давно немає, але він все ж таки є. І буде таким століття та тисячоліття.

Часовий інтервал життя сліду пам'яті, тобто енергетичного фантому будівлі, залежить від терміну життя фізичного обсягу будівництва на цьому місці. Енергоінформаційний абрис знесеної будівлі, потрапляючи до структури сучасної будівлі, у точках перетину своїх стін зі стінами нового об'єкта, формує небезпечні технопатогенні зони. Звідси найпростішим методом уникнути цього явища є вимога про модульованість нових будівель з енергоінформаційним слідом знесених будівель. Більш складним методом буде використання планувань та обсягів, формоутворення яких підбирається за принципами зміни частот колишнього

фантома за новими частотами та часом, і місця, і нової будівлі.

22. Центри силових вузлів з їх зірчастими, точніше, пелюстковими діаграмами обурення енергоінформатики простору міста у силовому каркасі, мають розглядатися як базові морфоутворюючі генератори містобудівних структур.

23. Окремі містобудівні структури та будівлі як кристаломорфні та біоморфні об'єкти повинні використовуватися з урахуванням наступних правил:

а) Кристаломорфні утворення мають парне і не парне число граней; неадекватний вплив на людину біоморфних абрисів будівель та елементів планувальної структури міста залежно від того, яка геометрія лежить в їх основі: Рімана, Лобачевського, Мінковського, чи інші; а також залежно від того, які типи фрактальності мультиплікуються у таких об'єктах.

Особливий наголос на новому розумінні фрактальності: є геометричні форми, які допомагають людині, а є – вбивають її.

б) При трансформації генерального плану Дніпра, у схемі функціонального зонування міста потрібно врахувати існуючу кореляцію між геометрією архітектурною версією будівель та планувальною формою генплану та його окремих структурно-планувальних елементів та функціональним типом людської діяльності. Включаючи кількісні залежності сприятливості архітектурних кристаломорфних та біоморфних елементів як для чоловіків, так і для жінок. Вони різні. Тип діяльності завжди проявляється через входження людини в параметри тієї ділянки електромагнітного спектру, яка забезпечує активацію приймальної антени в людині (хребет і череп), а також активацію відповідної ділянки кори головного мозку, що відповідає за цей вид діяльності. У зв'язку з тим, що планувальні морфотеми створюються на формах рельєфу з різними енергоінформаційними властивостями, має виникнути інтеграція вібрації рельєфу з вібрацією людини. Частотний діапазон інтеграції і є відповідь на питання про те, що

людині потрібно робити в цьому місці міста. Якщо змусити робити щось, що не відповідає частотам цієї ділянки, то така робота буде деструктивною для людського організму.

в) Відмінності енергоінформаційного навантаження на мешканців міста пов'язані з вертикальними та горизонтальними кутами різної розкритості: 12, 24, 30, 36, 45, 60, 90, 108 та іншим числом градусів. Це дозволяє вивести закон невідповідності кількості кутів та площин в окремо взятому приміщенні, будівлі, фрагменті планувальної структури міста: якщо кількість кутів хоча б на одиницю більша за кількість площин, об'єкт працює в позитивному для людини енергоінформаційному режимі; але – у позитивному діапазоні працюють лише тупі кути.

г) При розробці моделі трансформації генерального плану Дніпра та його забудови потрібно враховувати епюри енергоінформаційних напруг у вертикальній, діагональній та горизонтальній площині. Проте правила обліку залежить від геометрії первинної форми-елементалі (насправді – архетипічної форми, тобто первинної форми з числа таких, які генетично закладені в підсвідомості людини), покладеної основою аналізованого архітектурного чи містобудівного об'єкта.

Геометрія вище поверху, що йде в будівлі, і геометрія планувальної структури в генеральному плані міста з позиції їх вписування в енергоінформаційні процеси не можуть бути тотожно-подібними.

Через закони вертикальної поляризації простору в енергоінформаційному контексті геометрія форми першого поверху, створює абриси енергоінформаційної епюри над собою, яка і буде геометричною формою другого поверхсі, абриси якого не такі, як у першого. І так далі. У результаті, кожен поверх повинен мати іншу форму по відношенню до нижче форм поверхів. Однак все ще залежить і від висоти поверху. Вона пов'язана з епюрами енергоінформаційної напруги простору.

Тип діяльності працює у відповідних частотах. Іншими словами, призначення функціональних видів діяльності людей

(функціональних зон міста або будівлі) пов'язані з цими показниками.

д) Під час розробки шляхів трансформації генерального плану Дніпра слід враховувати й інші енергоінформаційні особливості роботи геометричних форм у будинках та елементах планувальної структури міста.

Форми, при «посадці» на той чи інший тип енергоінформаційних мереж, повинні створюватися на основі того, яке завдання ставиться при цьому проектувальнику.

Важливим аспектом є також і знання про те, що потрібно робити з геопатогенними зонами. Варіанти такі.

1. Зону можна нейтралізувати, навіщо потрібно розробити форми планувальних структур з урахуванням принципів матеріальних форм-нейтралізаторів;

2. Зону можна перемістити інше місце, навіщо створюються форми-відбивачі;

3. Із зоною зробити нічого не можна, тому що не до кінця зрозуміло, що є носієм патогенності. Єдиним варіантом вирішення проблеми буде лише відхід із зони.

Конкретні підходи щодо формоутворення залежать від завдань. У формах-нейтиралізаторах, наприклад, враховується кілька компонентів інтегрального поля: вміст сигналу, частота і амплітуда. Звідси можлива розробка архітектурних та містобудівних форм трьох класів: тел – нейтралізаторів інформації; тел-нейтралізаторів частот; тел – трансформаторів амплітуди сигналів.

24. Енергоінформаційні ефекти впливу на людину планувальних композицій з однотипних та різнотипних елементів пов'язані з числом елементів у цих композиціях. Заслужують на увагу планувальні композиції, що складаються з 6 і 28 елементів (піфагорійські числа), а також з 3 і 7 елементів, з 5 елементів. Справа в тому, що в залежності від числа планувальних елементів у генплані залежить вся концепція взаємодії людини з містом і місцевістю.

У генеральному плані Дніпра існують енергоінформаційні «порогі» у поведінці форм. Наприклад, є поріг, що складається з 7+1 планувальних елементів. Кожна 8-ма

вулиця у місті створюватиме енергетичний поріг у вигляді переходу властивостей простору в нову якість, з обов'язковою появою нового планувального принципу. За нульову точку відліку приймається перший елемент від сходу Сонця в день весняного рівнодення в точці з конкретними координатами географічної довготи і широти. Тобто в кожному генеральному плані будь-якого іншого міста він індивідуальний.

Оскільки Дніпро належить до міст-мільйонників, у ньому потрібно виявити та використовувати 4–5 таких точок: однієї центральної та 4-х по двох взаємоперпендикулярних лініях, що перетинаються в цій точці. Рух відліку – по ходу руху Сонця на видимій із Землі небесній сфері.

Близьким до вісімкового порога будуть планувальні композиції з 17 та 18 елементів. Сприятлива з погляду енергоінформаційних процесів та композиція з 12 елементів. Але вона працюватиме тільки в тому випадку, якщо у своєму складі проявить композицію з 7 та 5 елементів. Композиція з 13 елементів (не має жодного відношення до забобонів про число 13) дає перетворюючий та розвиваючий ефект. Вона потребує введення системи $12+1$. Зручна з позиції енергоінформатики композиційна система $17+1$, $22+1$ та інші. Для всіх порогових та інших особливих елементів планувальної системи необхідна розробка своєї містобудівної функції.

25. У ході дослідження енергоінформаційних моделей для реалізації в генеральному плані Дніпра відкрито супутні енергоінформаційні ефекти: ефект складної адитивності; ефект простої адитивності; ефект взаємності планувальних напрямів; ефект поляризації; ефект анізотропії; ефект планувальних стоячих хвиль; серія інтерференційних планувальних ефектів (планувальний спайдер-ефект, планувальний секвестр – ефект; ефект затягування планувальних частот, ефект стоячих планувальних хвиль, ефект трьох станів планувального спокою та

планувального руху, 14 інших планувальних ефектів).

26. У процесі трансформації генерального плану Дніпра є можливість використання прийомів об'єктивного, симбіотичного управління енергоінформатикою міста, що доповнюють технологію антенуючого проектування додатковими, як би допоміжними формами – антенами. До таких геометричних форм в архітектурі і містобудуванні відносяться дві групи геометричних форм-антен: моноантени та антени-конфігуроїди. До моноантен відносяться: антени-змійки, антени-паркани (прямі, вигнуті, замкнуті); антени-щітки; антени-тетраедри; антени-піраміди; антени-футляри та низка інших. Вони можуть супроводжуватись антенами-біоформами.

27. Існує взаємозв'язок енергоінформатики архітектури будівель та планувальних структур міст із багатовимірністю Всесвіту.

Кожен зі світів резонує в біополі людини своїм кольором, звуком, одиницею виміру простору, одиницею виміру часу та іншими характеристиками. Наприклад, у семи вимірах простору наші земні 10 років сприймаються як 1 хвилина. А у світі інтуїції (шестимірний простір) – як 10 хвилин. У світі п'ятивимірного виміру простору одна хвилина дорівнює приблизно нашому місяцю, а чотиривимірному простору – 3,5 дня.

На різних за геометрією формах рельєфу швидкість змінюється. Вона змінюється під впливом факту зв'язку форми рельєфу з мірністю простору, проєцируючого себе (антенируючого себе) цю форму рельєфу. У одному місці людський організм швидше старіє, ніж у іншому.

Якщо проектувати будівлі та містобудівні структури з цієї точки зору, то слід розглядати об'єкти з позиції хронограм, пов'язаних із швидкостями старіння людини. А це є принципово іншим підходом до проектування.

Таким чином, кожній мірності часу та простору (світу) відповідає своя система побудови архітектурних форм у

тривимірному світі та, навпаки, кожен геометричний тип архітектурної форми та планувального малюнка у генплані міста створює відповідний просторово-часовий континуум.

Таким чином, будь-яка будівля або містобудівний об'єкт повинні проектуватися як інтегральний комплекс форм, що своєю сукупністю виходить частотою вібрацій (випромінювань), що їм породжуються, на взаємодію з відповідною мірністю простору.

Люди, що знаходяться в даному об'єкті, неминуче повинні через ланцюжок біопольових впливів відчувати вплив перебігу часу та мірності простору таких світів. Як наслідок – конкретний геометричний тип нашого тривимірного простору штовхатиме людину на закладений у її (просторі) природі тип діяльності: фізичний, ментальний, духовний.

Багатовимірний вплив архітектурних форм на біоенергоінформаційну багатовимірність людини реалізується через розуміння значення ступеня числа. Під ступенем розглядається морфологічний клас архітектурних та містобудівних геометрій форм.

Наприклад, зведення числа в квадрат показує, яким воно стає в одновимірному просторі по відношенню до двовимірного (квадрати чисел – це площі, а площі мають два виміри простору).

Зведення в куб показує, яке це число в одновимірному просторі по відношенню до тривимірного (куб = гексаедр) має три виміри.

Вислів «трійка в кубі» не зовсім вірний. Точніше буде вираз: трійка тривимірного простору дорівнює 27 одномірного простору.

Так можна будувати геометричні системи переходу мірностей простору не тільки щодо одно- та трьох мірних варіантів, а й інших.

Це закладено Всесвіту у всій земній природі. Біологам, наприклад, відомо, що формул $1+1/n = 2.71828$, де n прагне нескінченності, яке називають числом Непера. Воно легко простежується у всіх біологічних організмах. Є одиницею нескінченного простору.

З позиції архітектури його слід читати так: одиниця простору, кількість вимірів якого дорівнює нескінченності, дорівнює 2.71828.

Помірності еволюціонують, що позначається на еволюції силового каркасу нашої планети, що неминуче вплине на принципи та моделі трансформації Дніпра.

28. Під час розробки шляхів трансформації генерального плану Дніпра потрібно використовувати форми, призначені для накопичення польових форм енергії та нових напрямів її використання у формоутворенні будівель та споруд, а також у формоутворенні планувальних структур у містобудуванні.

Всі інші схеми, що входять до списку документів із трансформації міста, повинні переглядатися на основі вищевикладеного матеріалу

Серед схем:

1. Схема проектних планувальних обмежень. Масштаб 1:10 000.

2. Схема вулично-дорожньої мережі. Масштаб 1:20 000.

3. Схема інженерної підготовки та захисту території (гідротехнічні заходи, дощова каналізація). Масштаб 1:20 000.

4. Схема інженерного обладнання території. Електропостачання. Масштаб 1:20 000.

5. Схема інженерного обладнання території. Теплопостачання та газопостачання. Масштаб 1:20 000.

6. Схема інженерного обладнання території. Водопостачання та каналізація. Масштаб 1:20 000.

7. Інженерно-технічні заходи цивільного захисту на особливий період. Схема розміщення захисних споруд. Масштаб 1:10 000.

8. Інженерно-технічні заходи цивільної захисту на мирну годину. Схема розміщення захисних споруд. Масштаб 1:10 000.

Висновки

У ході дослідження шляхів трансформації функціональної та планувальної структури міста Дніпро авторами статті представлено принципово

нове розуміння вирішення цього завдання. Воно кардинально відрізняється від усіх уявлень, які описані в сучасних публікаціях з містобудівної тематики для умов першої половини 21 століття.

Запропонована система підходів до трансформації сельбищних територій міста Дніпро через те, що вона спирається на

первинні процеси у властивостях простору та часу, а не на вторинні (як наслідок первинних), отримає подальший розвиток просто тому, що властивості матерії та енергоінформаційні структури, що керують нею, продовжують трансформуватися. Мислення людства також трансформується.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Антонов В. Л. Градостроительное развитие крупнейших городов. Киев – Харьков – Симферополь, 2005. 644 с.
2. Біленчук П. Д. Е-суспільство : цифрове майбутнє України. 2018. УкрДГРІ, 2018. 216 с.
3. Вакулєнко В. М., Мамонова В. В., Шаров Ю. П. Стратегічне планування на місцевому та регіональному рівнях: навч. посіб. Ужгород : ПАТЕНТ, 2004. 198 с.
4. Внесення змін до генерального плану м. Дніпро (арх. № 92647). Київ : Діпромiсто, 2024. URL: https://dniprorada.gov.ua/upload/editor/dnipro_2024_op.pdf
5. Габрель М. М. Просторова організація містобудівних систем. Інститут регіональних досліджень НАН України. Київ : Видавничий дім А.С.С., 2004. 400 с.
6. Дьомін М. М., Сингаєвська О. І Містобудівні інформаційні системи. Первинні елементи містобудівних об'єктів. Київ : Фенікс, 2015. 216 с.
7. Осітнянко А. П. Планування розвитку міста. Київ : КНУБА, 2005. 386 с.

REFERENCES

1. Antonov V.L. *Gradostroitelnoe razvitie krupneishikh gorodov* [Urban Development of Major Cities]. Kyiv – Kharkiv – Simferopol, 2005, 644 p. (in Russian).
2. Bilenchuk P.D. *E-suspilstvo : tsyfrove maibutnie Ukrainy* [E-Society : Ukraine's Digital Future]. UkrDGRI Publ., 2018, 216 p. (in Ukrainian).
3. Vakulenko V.M., Mamonova V.V. and Sharov Yu.P. *Stratehichne planuvannia na mistsevomu ta rehionalnomu rivniakh: navchalnyi posibnyk* [Strategic Planning at Local and Regional Levels : a textbook]. Uzhhorod : PATENT Publ., 2004, 198 p. (in Ukrainian).
4. *Vnesennia zmin do heneralnoho planu m. Dnipro (arkh. № 92647)* [Amendments to the Master Plan of the City of Dnipro (arch. No. 92647)]. Kyiv : Dipromisto Publ., 2024. URL: https://dniprorada.gov.ua/upload/editor/dnipro_2024_op.pdf (in Ukrainian).
5. Habrel M.M. *Prostorova orhanizatsiia mistobudivnykh system* [Spatial Organization of Urban Planning Systems]. Institute of Regional Research of the NAS of Ukraine. Kyiv : Vydavnychi Dim A.S.S., 2004, 400 p. (in Ukrainian).
6. Diomin M.M. and Synhaievska O.I. *Mistobudivni informatsiini systemy. Pervynni elementy mistobudivnykh obiektiv* [Urban Planning Information Systems. Primary Elements of Urban Planning Objects]. Kyiv : Feniks Publ., 2015, 216 p. (in Ukrainian).
7. Ositnianko A.P. *Planuvannia rozvytku mista* [Urban Development Planning]. Kyiv : KNUCA Publ., 2005, 386 p. (in Ukrainian).

Надійшла до редакції: 03.12.2025.

УДК 691

DOI: 10.30838/UJCEA.2312.250226.48.1208

ДИСКРЕТНОАРМОВАНІ РЕМОНТНІ РОЗЧИНИ

СМОЛІН Д. О.^{1*}, асп.,
ШИНКЕВИЧ О. І.², асп.

^{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: smolin.d.a@i.ua, ORCID ID: 0009-0007-0586-1861

² Кафедра автомобільних доріг та аеродромів, Одеська державна академія будівництва та архітектури, вул. Дідріхсона, 4а, 65004, Одеса, Україна, тел. +38 (0939) 79-99-22, e-mail: Oleksiishenkevech@gmail.com, ORCID ID: 0009-0006-2906-4958

Анотація. Постановка проблеми. Сучасні ремонтні розчини для відновлення та підсилення конструкцій повинні мати підвищену тріщиностійкість, адгезію до основи та довговічність. Одним із ефективних підходів є використання дискретного армування – введення в'язучої матриці коротких волокон різної природи, які забезпечують мікроармування на всьому об'ємі. В склад сучасних ремонтних сумішей, окрім мінеральних в'язучих, вводяться також поверхнево-активні речовини та пластифікатори, що регулюють процеси гідратації, структуроутворення і властивості штучного каменю. Пластифікатори дозволяють знизити водопотребу та підвищити щільність структури. Особливу увагу привертають системи на основі алюмінатних, сульфатних і сульфоалюмінатних в'язучих, оскільки вони забезпечують швидкий набір міцності та формування стабільної кристалічної структури. Мета статі – обґрунтування вибору складу дискретноармованих ремонтних розчинів для підвищення адгезії, зниження усадочних деформацій і запобігання утворенню тріщин при твердінні. Висновки. Проведені дослідження впливу вмісту волокон різних типів (поліпропіленових, сталевих, базальтових) на фізико-механічні показники та реологічні властивості розчинів. Показано, що введення 0,5–1,0 % коротких поліпропіленових волокон знижує ризик усадочних тріщин і підвищує тріщиностійкість, а сталеві та базальтові волокна збільшують міцність на розтяг при згині до 20–30 %. Отримано комплекс експериментально-статистичних моделей наномодифікованих композицій на основі глиноземистого цементу та гіпсу, що дають можливість визначення впливу вхідних факторів на зростання основних фізико-механічних властивостей. Дослідженнями встановлено співвідношення базових компонентів композиту на основі 70 % глиноземистого цементу, 30 % гіпсу і пластифікатору Sika VG Sika = 0,10÷0,40; Глиноземистий цемент = 69,72÷69,93; Гіпс = 29,88÷29,97. Згідно технології виготовлення зменшено кількість компонентів до мінімуму і отримано систему в'язуче – заповнювач – пластифікатор. З економічної сторони в залежності від вимог замовника можна регулювати витрату глиноземистого цементу та гіпсової в'язучої речовини в границях приблизно 10 %.

Ключові слова: базальтове волокно; дискретноармований; ремонтний розчин; цементна композиція; мікроармуюче волокно; модифікація; бетон; тріщиностійкість; усадка

REPAIR MORTARS REINFORCED WITH DISCRETE FIBERS

SMOLIN D.O.^{1*}, Postgrad. Stud.,
SHYNKEVECH O.I.², Postgrad Stud.

^{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 St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-16-22, e-mail: smolin.d.a@i.ua, ORCID ID: 0009-0007-0586-1861

² Department of Automobile Roads and Airfield, Odes'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture, 4-a, Didrikhson Str., Odesa, 65004, Ukraine, tel. +38 (0939) 79-99-22, e-mail: Oleksiishynkevych@gmail.com, ORCID ID: 0009-0006-2906-4958

Abstract. Articulation of issue. Modern repair mortars for the restoration and strengthening of structures must demonstrate enhanced crack resistance, adhesion to the substrate and durability. One of the effective approaches is the use of discrete reinforcement, which involves introducing short fibers of various origins into the binding matrix, thereby providing micro-reinforcement throughout the entire volume. In addition to mineral binders, modern repair mortars contain surfactants and plasticizers that regulate hydration, structure formation, and the properties of the artificial stone. Plasticizers reduce water demand and increase structural density. Particular attention is given to systems based on aluminate, sulfate and sulfoaluminate binders, as they provide rapid strength development and the formation of a stable crystalline structure. *The purpose of this article* is to justify the selection of compositions for repair mortars reinforced

with discrete fibers to enhance adhesion, reduce shrinkage deformations and prevent crack formation during curing. **Conclusions.** Studies have been conducted on the influence of the content of various types of fibers (polypropylene, steel, basalt) on the physical and mechanical characteristics and rheological behavior of the mortars. It has been shown that the introduction of 0.5–1.0 % short polypropylene fibers reduces the risk of shrinkage cracks and increases crack resistance, while steel and basalt fibers increase tensile strength in bending by up to 20–30 %. A set of experimental and statistical models of nano-modified compositions based on alumina cement and gypsum has been obtained, enabling the determination of the influence of input factors on the development of key physical and mechanical properties. The studies has established the proportion of the basic components of the composite based on 70 % alumina cement, 30 % gypsum, and the plasticizer Sika VG as follows: Sika VG = 0,10÷0,40; Alumina cement = 69,72÷69,93; Gypsum = 29,88÷29,97. According to the manufacturing technology, the number of components has been reduced to a minimum, resulting in a binder – filler – plasticizer system. In economic terms, depending on the customer's requirements, the consumption of alumina cement and gypsum binder can be adjusted by approximately 10 %.

Keywords: *basalt fiber; repair mortar reinforced with discrete fibers; cement composition; micro-reinforcing fiber; modification; concrete; crack resistance; shrinkage*

Постановка проблеми. Світовий досвід свідчить, що перспективним напрямом у сучасному будівництві є мікроармування бетонів та композиційних матеріалів. Дисперсне армування або армування безперервною волокнистою арматурою забезпечує тривимірне зміцнення композитів і дозволяє принципово змінювати властивості цементного каменю та інших видів штучних композитів, забезпечуючи їм високу тріщиностійкість, підвищуючи опір ударним і динамічним навантаженням, створюючи необхідний запас міцності, зберігаючи цілісність конструкції, навіть після появи наскрізних тріщин, підвищити абразивне зношування, запобігти відшаруванню поверхні і т. д.

Високодисперсні волокнисті наповнювачі в цементних композиціях позитивно впливають на процеси структуроутворення, в результаті поєднання мікроармуючого волокна і матриці цементного каменю утворюється додатковий комплекс властивостей композиту, якими ізольовані компоненти не володіють; так, наявність межі розділу між армуючими елементами та цементною матрицею суттєво підвищує деформативні властивості матеріалу.

Волокна, рівномірно розподілені та хаотично спрямовані в обсязі цементного композиту дозволяють контролювати розмір і розподіл тріщин, а також покращувати цілу низку фізичних та експлуатаційних характеристик. При цьому ефективність застосування фібрового армування залежить від механічних характеристик, геометрії

армуючих волокон та від ступеня їх зчеплення із цементною матрицею [1; 2].

Особливо актуальними є питання армування виробів на основі мінеральних в'язучих у зв'язку з їх структурними змінами при твердінні, температурно-вологісних впливах довкілля та низькою міцністю на розтяг і ударної в'язкості.

Так як однією з основних проблем при виробництві ремонтних робіт є низьке зчеплення будівельних розчинів з основою і їх розтріскування при висиханні та твердінні, введення армуючих добавок з високою армуючої здатністю, якими і є базальтові волокна, може вирішити цю проблему. Порівняно із звичайним розчином дисперсно-армована суміш має у кілька разів вищі показники: ударної та втомної міцності; міцності на розтяг та зріз; тріщиностійкості; морозостійкості; водонепроникності; жароміцності та пожежостійкості.

Мета дослідження – підвищити зчеплення будівельних розчинів з основою і зменшити їх розтріскування при висиханні та твердінні.

Аналіз досліджень та публікацій.

У статті [3] досліджено бездротовий електромеханічний імпедансний (ЕМІ) моніторинг фібробетонних балок із п'єзоелектричними сенсорами PZT під час згину. Показано, що зміни частот і індекси RMSD/MAPD дозволяють виявляти напруження й тріщини ще до їх видимого прояву. Невирішеним лишається відокремлення впливу робочих напружень від реального пошкодження у великих конструкціях, що ускладнюється відсутністю

можливості їх розвантаження та високою вартістю тривалого моніторингу. Подолати це можна завдяки комбінованим алгоритмам обробки сигналів, використанню різних типів сенсорів і натурним випробуванням. Отже, доцільно проводити подальші дослідження з масштабування та перевірки бездротових ЕМІ-систем для довготривалого контролю реальних бетонних споруд.

У роботі [4] наведено результати досліджень впливу перероблених волокон поліетиленових волокон високої щільності на армований бетон. Показано, що 0,2 % коротких волокон зменшують пористість, підвищують міцність на стиск до 4,8 % і сповільнюють корозію арматури завдяки бар'єрному ефекту, тоді як більша довжина й вміст волокон знижують міцність. Невирішеними залишаються питання довготривалої поведінки та рівномірного розподілу волокон у великих конструкціях, що ускладнюється високою вартістю натурних випробувань і контролю якості переробленого пластику. Подолати ці труднощі можна через прискорені корозійні тести, промислові методи рівномірного введення волокон та комбіноване армування. Отже, доцільне подальше дослідження довгострокової корозійної стійкості та міцності бетону з ПВВЩ-волокнами в реальних умовах.

У роботі [5] наведено результати досліджень піщаного бетону, армованого волокнами РЕТ, за високих температур (100–700 °С). Показано, що підвищення температури зменшує міцність на стиск і згин, але поліетилентерефталатні волокна знижують ризик вибухового руйнування і тріщиноутворення, виконуючи роль поліпропіленових волокон. Невирішеними залишаються питання довготривалої поведінки та оптимального дозування волокон, а також масштабування технології у великих конструкціях, що ускладнено дорогими натурними випробуваннями та контролем якості переробленого пластику. Подолати ці труднощі можна через прискорені випробування на вогнестійкість, розробку промислових методів рівномірного введення волокон та комбіноване армування.

Все це дозволяє стверджувати, що доцільним є проведення подальших досліджень, присвячених практичній валідації та довгостроковій вогнестійкості бетону з поліетилентерефталатними волокнами у реальних будівельних умовах.

У роботі [6] показано, що додавання 0,5 % бамбукових і 0,1 % пшеничних волокон підвищує міцність бетону (до +8,9 %), покращує тріщиностійкість, пластичність і дозволяє зменшити товщину покриття на 11 %. Невирішені питання: складність підготовки волокон і відсутність даних про довготривалу роботу в різних умовах. Подолати труднощі можна автоматизацією підготовки волокон і додатковими довгостроковими випробуваннями. Доцільно провести дослідження експлуатаційної довговічності гібридного фібробетону.

В роботах [7–12] наведено результати калібрування та валідації розширеної моделі LDPM-F для моделювання поліпропілено- та сталеві фібробетону. Показано, що за допомогою лише трьохточкового згину та осевого стиску можна отримати кілька наборів параметрів, які добре узгоджуються з експериментальними даними; при цьому лише один набір для поліпропіленового бетону точно відтворює результати енергоємності панелей, тоді як для сталеві фібробетону точного збігу досягти не вдалося. Залишилися не вирішені питання, пов'язані з браком повних експериментальних даних (відсутність випробувань на матриці без волокон, тестів на витягування окремих волокон), що ускладнює унікальну ідентифікацію параметрів і призводить до неоднозначності калібрування. Причинами є висока трудомісткість і вартість повного експериментального комплексу. Подолати ці труднощі можна розширенням експериментальної бази (випробування матриці без волокон, тестів на пряме розтягування волокон), а також застосуванням автоматизованих процедур оптимізації параметрів.

Результати досліджень. Базальтові волокна відрізняються від інших

мінеральних волокон не лише своїми високими фізико-механічними властивостями, а й підвищеною хімічною стійкістю, температуро-, світло- та атмосферостійкістю, а й, що важливо, простотою технології виробництва, невисокою вартістю та екологічною

безпекою. При застосуванні цих волокон як армуючі компоненти для виготовлення дисперсно-армованих композиційних матеріалів можна виключити ряд проблем, пов'язаних, наприклад, з корозією сталевих фібр в аналогічних умовах застосування [3; 4; 13–18].

Таблиця 1

Дослідження застосування базальтових волокон як дисперсний армуючий компонент

	Міцність на стиск, МПа					Міцність на вигин, МПа				
	1 доб.	3 доб.	7 доб.	14 доб.	28 доб.	1 доб.	3 доб.	7 доб.	14 доб.	28 доб.
Чистий ГЦ	13	16,1	21,7	24,2	28,1	2,3	2,4	2,7	3	3,5
ГЦ+Баз. волокно 12 мм, 0,1 %	15,3	18,4	24,5	27,4	32,4	2,35	2,5	2,9	3,1	3,9
30 %Г5, 70 %ГЦ	17,2	32,6	35,9	40	42,3	2,44	2,7	2,8	3,4	3,98
30 % Г5, 70 % ГЦ + баз. волокно 12 мм, 0,1%	16,4	31,2	34	38,2	40	2,9	3,15	3,44	3,8	4,35
30 % Г5, 70 % ГЦ + поліпропіленове волокно 12 мм, 0,1%	15,7	30,5	33	36,9	38,2	2,7	2,88	3,1	3,4	3,84

Дослідження застосування базальтових волокон як дисперсний армуючий компонент для швидкотвердіючих сухих сумішей показали ряд характерних закономірностей, які необхідно враховувати. Як видно з таблиці 1 застосування базальтового волокна довжиною 12 мм для підвищення фізико-механічних характеристик сумішей найефективніше на ранніх термінах твердіння. При цьому кількість базальтового волокна в % від маси в'язучого повинна становити 0,1%. Приріст міцності при стисканні у віці 3 днів при довжині волокна

12 мм та концентрації волокна 0,1 % становив 17,69 %, а при вигині 4,16 % від міцності контрольних зразків із чистого розчину. Міцність при згинанні у віці 28 днів зросла на 11,4 %. Збільшення міцності на ранніх термінах твердіння, пов'язане зі структуруванням суміші фібровими включеннями, підвищенням внутрішнього тертя і обмеженим переміщенням складових матриці в присутності волокон. Підвищення характеристик міцності в пізні терміни є результатом гідратаційних процесів при твердінні цементного каменю.



Рис. 1. Вплив волокна на міцність зразків при стисканні

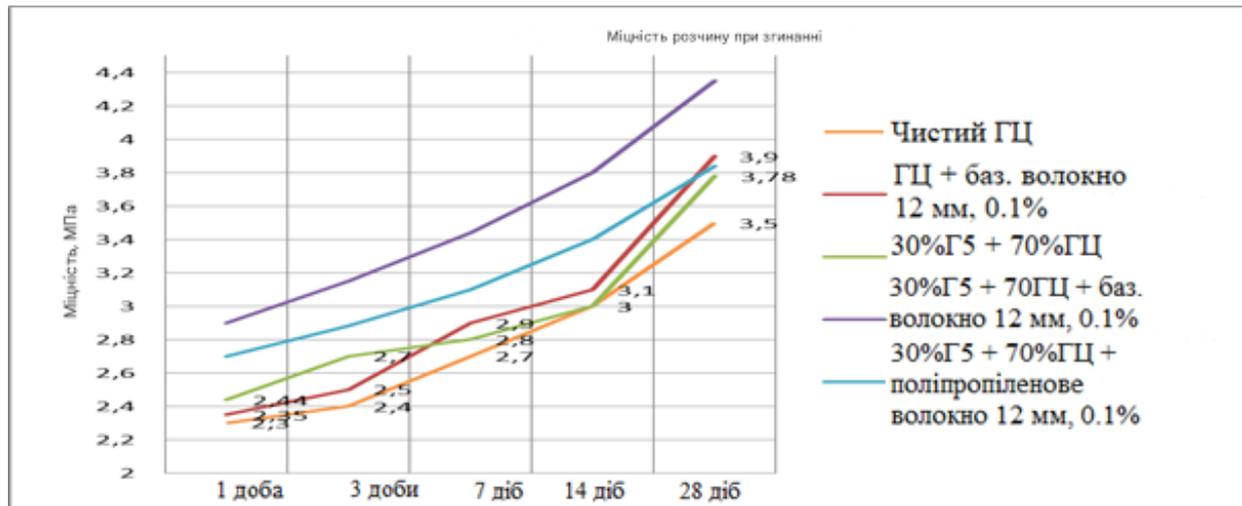


Рис. 2. Вплив волокна на міцність при згинанні

Використання базальтового волокна у складі швидкотвердіючої суміші ГЦ:Г5 доцільно у кількості 0.1% для підвищення міцності при згині. У віці 1, 3, 7, 14, 28 діб приріст становив 18,85 %, 16,7 %, 22,8 %, 26,6 %, 15 % відповідно.

Введення в суміш дисперсної арматури та обумовлене цим збільшення міцності суміші, на ранніх термінах твердіння, пов'язане зі структуруванням суміші фібровими включеннями, підвищенням внутрішнього тертя та обмеженим переміщенням складових матриці у присутності волокон.

Однак подальше збільшення характеристик міцності, очевидно, є результатом глибших гідратаційних процесів при твердінні цементного каменю в присутності волокон. Одночасно встановлено, що інтенсивність піків, властивих трикальцієвому силікату, у фіброцементі набагато нижча, ніж у зразках без волокон. Таким чином, можна говорити про більш глибокий ступінь гідратації

цементу в присутності дисперсної арматури незалежно від матеріалу та геометричних характеристик волокон.

Висновки

Базальтне волокно забезпечує тривимірне зміцнення розчину в порівнянні з традиційною арматурою, що забезпечує лише двовимірне зміцнення. У цьому підвищується довговічність матеріалу, знижується усадкова деформація, значно збільшується тріщиностійкість, ударна в'язкість.

Все це розкриває перед дисперсно-армованими матеріалами нові сфери застосування, а також дозволяє значно зменшити загальну вагу будівельних конструкцій за рахунок зменшення перерізу при незмінних показниках міцності. Тим більше застосування волокна вирішить проблеми будівництва на слабких ґрунтах, а також питання економії сировинних, енергетичних та трудових ресурсів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Рунова Р. Ф., Дворкін Л. Й., Дворкін О. Л., Носовський Ю. Л. В'язучі речовини : підруч. Київ : Основа, 2012. 448 с.
2. Пашенко О. О. В'язучі матеріали : підруч. Київ : Вища школа, 1995. 416 с.
3. Naoum M. C., Sapidis G. M., Papadopoulos N. A. & Voutetaki M. E. An Electromechanical Impedance-Based Application of Realtime Monitoring for the Load-Induced Flexural Stress and Damage in Fiber-Reinforced Concrete. *Fibers*. 2023. № 11 (4). Pp. 34.
4. Flores Nicolás A., Menchaca Campos E. C., Flores Nicolás M., Martínez González J. J., González Noriega O. A. & Uruchurtu Chavarín J. Influence of Recycled High-Density Polyethylene Fibers on the Mechanical and Electrochemical Properties of Reinforced Concrete. *Fibers*. 2024. № 12 (3). Pp. 24.

5. Benzerara M., Biskri Y., Saidani M., Slimani F. & Belouettar R. High-Temperature Behavior of Polyethylene – Terephthalate – Fiber – Reinforced Sand Concrete : Experimental Investigation. *Fibers*. 2023. № 11 (5). Pp. 46.
6. Geremew A., Outtier A., De Winne P., Demissie T. A. & De Backer H. An Experimental Investigation on the Effect of Incorporating Natural Fibers on the Mechanical and Durability Properties of Concrete by Using Treated Hybrid Fiber – Reinforced Concrete Application. *Fibers*. 2025. № 13 (3). Pp. 26.
7. Poudel S., Cibelli A., Del Prete C., Wan-Wendner R., Mazzotti C. & Buratti N. Insights on Lattice Discrete Particle Model Calibration and Validation Procedure to Simulate Polypropylene and Steel Fibre – Reinforced Concrete. *Fibers*. 2025. № 13 (2). Pp. 16.
8. Sanytsky M., Kropyvnytska T., Fischer H., Kondratieva N. Performance of low carbon modified composite gypsum binders with increased water resistance. *Chemistry & Chemical Technology*. 2019. Vol. 13, № 4. Pp. 495–502.
9. Sanytsky M., Usharov-Marshak A., Kropyvnytska T., Heviuk I. Performance of multicomponent Portland cements containing granulated blast furnace slag, zeolite and limestone. *Cement Wapno Beton*. 2020. № 25 (5). Pp. 416–427.
10. Plank J. Concrete Admixtures Where Are We Now and What Can We Expect in the Future? 19th Ibaasil. Weimar. 2015. PV03. Pp.18.
11. Roy D., Daimon M. Effect of Admixtures upon Electrokinetic phenomena during hydration of C₃S. C₃A and port – land cement. 7th intern Congr. Chem. *Cements*. Paris. Vol II. 1980. Pp. 242–246.
12. 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.
13. Пушкарьова К. К., Кочевих М. О. Матеріалознавство для архітекторів та дизайнерів : навч. посіб. Київ : Ліра-К, 2019. 424 с.
14. Kondofesky-Mintova L., Plank J. Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete : Proceedings Tenth International Conference (October 2012, Prague, Czech Republic). P. 423.
15. Sanytskyi M. A., Kondratieva N. V. III All-Ukrainian Science and Technology Conference “Modern Trends in the Development and Production of Silicate Materials” (September 5–8, 2016, Lviv). P. 93.
16. Фізика і хімія поверхності. Кн. 1. За ред. М. Т. Картеля та В. В. Лобанова. Київ : Інститут хімії поверхні імені О. О. Чуйко НАН України. Інтерсервіс, 2015. 1085 с.
17. Shishkin A, Shishkina A., Vatin N. Low-shrinkage alcohol cement concrete. *Applied Mechanics and Materials*. 2014. Vol. 633–634. Pp. 917–921.
18. Shishkina A., Shishkin A. Study of the effect of micellar catalysis on the strength of alkaline reactive powder concrete. *EEJET*. 2018. № 3/6 (93). Pp. 46–51.

REFERENCES

1. Runova R.F., Dvorkin L.J., Dvorkin O.L. and Nosovskij Yu.L. *V'yazhuchi rehovini* [Binders]. Kyiv : Osnova Publ., 2012, 448 p. (in Ukrainian).
2. Pashchenko O.O. *V'yazhuchi materialy* [Binding materials]. Kyiv : Vishcha Shkola Publ., 1995, 416 p. (in Ukrainian).
3. Naoum M.C., Sapidis G.M., Papadopoulos N.A. and Voutetaki M.E. An Electromechanical Impedance-Based Application of Realtime Monitoring for the Load-Induced Flexural Stress and Damage in Fiber-Reinforced Concrete. *Fibers*. 2023, no. 11 (4), pp. 34.
4. Flores Nicolás A., Menchaca Campos E. C., Flores Nicolás M., Martínez González J. J., González Noriega O. A. and Uruchurtu Chavarín J. Influence of Recycled High-Density Polyethylene Fibers on the Mechanical and Electrochemical Properties of Reinforced Concrete. *Fibers*. 2024, no. 12 (3), pp. 24.
5. Benzerara M., Biskri Y., Saidani M., Slimani F. and Belouettar R. High-Temperature Behavior of Polyethylene – Terephthalate – Fiber – Reinforced Sand Concrete : Experimental Investigation. *Fibers*. 2023, no. 11 (5), pp. 46.
6. Geremew A., Outtier A., De Winne P., Demissie T.A. and De Backer H. An Experimental Investigation on the Effect of Incorporating Natural Fibers on the Mechanical and Durability Properties of Concrete by Using Treated Hybrid Fiber – Reinforced Concrete Application. *Fibers*. 2025, no. 13 (3), pp. 26.
7. Poudel S., Cibelli A., Del Prete C., Wan-Wendner R., Mazzotti C. and Buratti N. Insights on Lattice Discrete Particle Model Calibration and Validation Procedure to Simulate Polypropylene and Steel Fibre-Reinforced Concrete. *Fibers*. 2025, no. 13 (2), pp. 16.
8. Sanytsky M., Kropyvnytska T., Fischer H. and Kondratieva N. Performance of low carbon modified composite gypsum binders with increased water resistance. *Chemistry & Chemical Technology*. 2019, vol. 13, no. 4, pp. 495–502.
9. Sanytsky M., Usharov-Marshak A., Kropyvnytska T. and Heviuk I. Performance of multicomponent Portland cements containing granulated blast furnace slag, zeolite and limestone. *Cement Wapno Beton*. 2020, no. 25 (5), pp. 416–427.
10. Plank J. Concrete Admixtures Where Are We Now and What Can We Expect in the Future? 19th Ibaasil. Weimar. 2015, PV03, pp. 18.

11. Roy D. and Daimon M. Effect of Admixtures upon Electrokinetic phenomena during hydration of C_3S , C_3A and portland cement. 7th intern Congr. Chem. Cements. Paris, vol. II, 1980, pp. 242–246.
12. Kryvenko P.V., Pushkariova K.K., Baranovskyi V.B., Kochevyh M.O., Hasan Ye.G., Konstantynivskyi B.Ya. and Raksha V.O. *Budiveln'e Materialoznavstvo : pidruchnik* [Materials Science in Construction : textbook]. Ed. by P.V. Kryvenko. Kyiv : Lira-K Publ., 2015, 624 p. (in Ukrainian).
13. 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).
14. Kondofesky-Mintova L. and Plank J. Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete : Proceedings Tenth International Conference (October 2012, Prague, Czech Republic), p. 423.
15. Sanytskyi M.A. and Kondratieva N.V. III All-Ukrainian Science and Technology Conference “Modern Trends in the Development and Production of Silicate Materials” (September 5–8, 2016, Lviv), p. 93.
16. *Fizika i Khimiya Poverkhnosti. Kniga I. Fizika Poverkhnosti* [Surface Physics and Chemistry. Book I. Surface Physics] (Eds. M.T. Kartel and V.V. Lobanov). Kyiv : O.O. Chuiko Institute of Surface Chemistry of the N.A.S. of Ukraine-Interservis LLC, 2015.
17. Shishkin A., Shishkina A. and Vatin N. Low-shrinkage alcohol cement concrete. Applied Mechanics and Materials. 2014, vol. 633–634, pp. 917–921.
18. Shishkina A. and Shishkin A. Study of the effect of micellar catalysis on the strength of alkaline reactive powder concrete. EEJET. 2018, no. 3/6 (93), pp. 46–51.

Надійшла до редакції: 01.12.2025.

УДК 624.042.4+624.014.2+624.04

DOI: 10.30838/UJCEA.2312.250226.55.1209

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК НА РОЗВИТОК ПРОГРЕСУЮЧОГО ОБВАЛЕННЯ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

ДАВИДОВ І. І.^{1*}, канд. техн. наук, доц.,

ЧАБАН В. П.², канд. техн. наук, доц.,

КОВТУН-ГОРБАЧОВА Т. А.³, канд. техн. наук, доц.,

КОВТУН К. А.⁴, асп.

^{1*} Кафедра металевих, дерев'яних і пластмасових 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) 46-98-62, e-mail: i.i.davydov@ust.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-7687-2241

² Кафедра металевих, дерев'яних і пластмасових 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) 46-98-62, e-mail: v.p.chaban@ust.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-0217-5504

³ Кафедра металевих, дерев'яних і пластмасових 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) 46-98-62, e-mail: t.a.kovtun_horbachova@ust.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-0948-1299

⁴ Кафедра технології будівельного виробництва та геодезії, Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпро, Україна, тел. +38 (0563) 73-15-44, e-mail: k.a.kovtun@ust.edu.ua, ORCID ID: 0009-0009-5457-0045

Анотація. У роботі досліджено вплив динамічних характеристик будівельних конструкцій на механізми розвитку прогресуючого обвалення. Показано, що власні частоти, форми коливань та рівень демпфування істотно впливають на характер поширення обвалення після первинного руйнування одного або кількох несучих елементів. На основі отриманих результатів сформульовано критерії оцінки вразливості конструкцій до прогресуючого обвалення з урахуванням їх динамічних характеристик. **Мета статті.** Метою дослідження є встановлення взаємозв'язку між динамічними характеристиками будівельної конструкції та механізмами розвитку прогресуючого обвалення. Особлива увага приділяється впливу власних частот, форм коливань та рівня демпфування на ймовірність збудження конструкції до стану втрати стійкості або подальшого руйнування. На прикладі чисельного аналізу будівлі зі сталевим каркасом показано, що існує пряма залежність між локальними пошкодженнями та перерозподілом жорсткості конструктивної системи. Аналіз змін динамічних характеристик дає змогу ідентифікувати потенційно небезпечні зони зі зниженим опором до прогресуючого руйнування. Для оцінки вразливості до обвалення доцільно визначати перші 3–5 власних частот коливань, відповідні форми коливань, а також показники демпфування. Значне зниження жорсткості призводить до локалізації коливань, зростання амплітуд і потенційного накопичення енергії. Якщо система не в змозі погасити коливання через недостатнє демпфування, можливе каскадне руйнування. Критичними сигналами є зниження частоти більш ніж на 30 %, зростання амплітуди деформацій понад 50 %, поява локалізованих форм коливань, зменшення демпфування. Запропоновано уточнення до умов енергетичного підходу при оцінюванні поширення прогресуючого обвалення з урахуванням динамічних характеристик та локалізації деформацій у формах коливань (тобто структурної вразливості). Уточнено умови визначення динамічного коефіцієнта з урахуванням спектра частот і демпфування. Сформульовано завдання конструктивного формоутворення на основі динамічного аналізу з метою підвищення опору прогресуючому обваленню. **Висновки.** Використання динамічних коефіцієнтів (ударних множників), рекомендованих нормативними документами, є виправданим, але недостатнім без урахування індивідуальних характеристик конкретної конструкції. Аналіз власних форм коливань конструкцій будівлі можуть відображати потенційно слабкі місця, де деформації та напруження в конструкціях будуть найбільшими. Це важливо при прогнозуванні механізму розвитку прогресуючого обвалення. Результати дослідження можуть бути використані при оцінці вразливості існуючих будівель, а також при проектуванні нових конструкцій, стійких до прогресуючого обвалення згідно з сучасними вимогами безпеки.

Ключові слова: прогресуюче обвалення; частоти та форми коливань; чисельне моделювання; конструктивна схема; каркасна конструктивна схема

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF DYNAMIC CHARACTERISTICS ON THE DEVELOPMENT OF PROGRESSIVE COLLAPSE OF BUILDING STRUCTURES

DAVYDOV I.I.^{1*}, *Cand. Sc.(Tech.), Assoc. Prof.*,
CHABAN V.P.², *Cand. Sc.(Tech.), Assoc. Prof.*,
KOVTON-HORBACHOVA T.A.³, *Cand. Sc.(Tech.), Assoc. Prof.*,
KOVTON K.A.⁴, *Postgrad. Stud.*

^{1*} Department of Metal, Wooden and Plastic Structures, 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 (0562) 46-98-62, e-mail: i.i.davydov@ust.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-7687-2241

² Department of Metal, Wooden and Plastic Structures 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 (0562) 46-98-62, e-mail: v.p.chaban@ust.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-0217-5504

³ Department of Metal, Wooden and Plastic Structures, 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 (0562) 46-98-62, e-mail: t.a.kovton_horbachova@ust.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-0948-1299

⁴ Department of Construction Technology and Geodesy, Ukrainian State University of Science and Technologies, 2, Lazaryana St., Dnipro, 49010, Ukraine, tel. +38 (0563) 73-15-44, e-mail: k.a.kovton@ust.edu.ua, ORCID ID: 0009-0009-5457-0045

Abstract. The paper investigates the influence of dynamic characteristics of building structures on the mechanisms of progressive collapse development. It is shown that natural frequencies, mode shapes, and damping levels significantly affect the propagation pattern of collapse following the initial failure of one or more load-bearing elements. Based on the obtained results, vulnerability assessment criteria are formulated that take into account the dynamic properties of structures. **Purpose of the article.** The purpose of this study is to establish the relationship between the dynamic characteristics of a structural system and the mechanisms of progressive collapse development. Special attention is given to the effect of natural frequencies, vibration modes, and damping level on the likelihood of structural excitation leading to instability or further collapse. Based on a numerical analysis of a steel-framed building, a direct relationship is demonstrated between local damage and the redistribution of stiffness in the structural system. The analysis of changes in dynamic characteristics makes it possible to identify potentially vulnerable zones with reduced resistance to progressive collapse. To assess collapse vulnerability, it is advisable to determine the first 3–5 natural frequencies and corresponding mode shapes, as well as damping properties. A significant reduction in stiffness leads to the localization of vibrations, increased amplitudes, and potential energy accumulation. If the system is unable to dissipate vibrations due to insufficient damping, cascading failure may occur. Critical warning signs include a frequency decrease of more than 30 %, an increase in deformation amplitude by over 50 %, the emergence of localized vibration modes, and a reduction in damping. Clarifications are proposed to the conditions of the energy-based approach for evaluating the propagation of progressive collapse, taking into account dynamic characteristics and the localization of deformations within vibration modes (i. e., structural vulnerability). The criteria for determining the dynamic coefficient are refined to consider the frequency spectrum and damping. Design tasks are formulated based on dynamic analysis to enhance resistance to progressive collapse. **Conclusions.** The use of dynamic coefficients (impact factors) recommended by building codes is justified but insufficient without considering the individual properties of the specific structure. The analysis of structural vibration modes can reveal potential weak spots where deformations and stresses are expected to be the highest. This is crucial for predicting the mechanisms of progressive collapse propagation. The results of this research can be applied in assessing the vulnerability of existing buildings and in designing new structures resistant to progressive collapse in accordance with modern safety requirements.

Keywords: *progressive collapse; natural frequencies and vibration modes; numerical modeling; structural layout; frame structural system*

Постановка проблеми. Найчастіше під час проектування динамічні характеристики враховуються динамічними коефіцієнтами та обмеженнями частот нижчих форм власних коливань. Існують анти-резонансні вимоги, які прямо забороняють або обмежують певні діапазони власних частот конструкцій у мостах та будинках. Наприклад, перша

власна частота коливань прогонової будови повинна бути: у вертикальному напрямку – не менше ніж 3 Гц; у горизонтальному напрямку – не менше ніж 1,3 Гц; для кручення – не менше ніж 0,5 Гц. У національних нормах [7] при аналізі вітрових навантажень вводять граничний критерій для першої форми власних коливань 4 Гц (або

0,25 сек). Рекомендується застосовувати динамічний коефіцієнт (наприклад, ударний множник), який складає 2–3. Важливість врахування динамічних характеристик при оцінці ризику розвитку прогресуючого обвалення підкреслюється в нормативних документах [1–6]. У роботах [8–10] наводяться рекомендації щодо аналізу динамічних ефектів поглинання у вузлах та демпфування. Врахування динамічних характеристик не лише дозволяє підвищити точність прогнозування ризику прогресуючого обвалення, але й дозволяє розробити раціональні заходи підсилення та конструктивні рішення, що знижують вразливість системи до вторинних руйнувань.

Мета й завдання. Метою дослідження є встановлення взаємозв'язку між динамічними характеристиками будівельної конструкції та механізмами розвитку прогресуючого обвалення. Особлива увага приділяється впливу власних частот, форм коливань та рівня демпфування на ймовірність збудження конструкції до стану втрати стійкості або подальшого руйнування.

Виклад матеріалу. Розглянемо, як будуть впливати форми коливань (як умовна характеристика просторової жорсткості конструктивної схеми) та вплив конкретних форми коливань на ймовірність поширення прогресуючого обвалення.

Досліджуваним об'єктом є одноповерхова промислова будівля з каркасно конструктивною схемою, яка має габарити в плані – 48×18 м.

Будівля оснащена електричним мостовим краном вантажопідйомністю 10 т. Відмітка головки рейок становить +20.000, нижній рівень ферм +22.500 (рис. 1).

У підвалі зі залізобетонною конструктивною схемою та на першому поверсі розташовано обладнання для динамічних випробувань.

Несучий сталевий каркас складається з 9-ти поперечних рам із кроком 6 м, які пов'язані між собою, вертикальними зв'язками по колонах, підкрановими

конструкціями та конструкціями покриття. Жорсткість диска покриття забезпечується горизонтальними зв'язками по фермах, вертикальними зв'язками в рівні ферм, а також диском, який запроектовано з використанням залізобетонних плит покриття.

Колони каркасу між відмотками –1.500 до +19.408 виконані зі зварених двотаврів (нижня полиця – № 45, верхня – 450×20 мм, стінка – 1225×8 мм, ребра – 14 мм, крок 2,4 м). Надкранова частина (до +24.600) – стінка 560×8 мм.

Фахверкові стійки запроектовано зі швелерів № 30 і мають складений двотавровий перетин.

Підкранові балки виконані розрізними з прокатного двотавра № 45 з накладками (360×10 мм верх, 210×12 мм низ), ребра мають товщину 12 мм.

Кроквяні ферми покриття виконані з прольотом з жорстким примиканням до колон. Висота ферм на опорах складає 1,8 м, на опорі, у середині – 2,55 м. Елементи ферм виконані з спарених рівнополочних кутників: пояси – 160×10 мм; стійки, розкоси – 75×6, 100×10 мм, з'єднання – заклепки Ø20 мм. Кріплення до колон – болти М20.

Зв'язки по фермах покриття – вертикальні зв'язкові ферми, горизонтальні хрестові та розпірки з кутників 75×6 мм.

Плити покриття виконані ребристі за серією 1.465, 3×6 м, ребра 300 мм.

Покрівля виконана тепла м'яка рулонна.

Стінове огороження – навісні панелі з керамзитобетону товщиною 200 мм (серія ЖБ-1196).

Перша форма власних коливань відповідає першому тону поступальних згинальних коливань поперечних рам (розгойдування в поперечному напрямку). Друга форма власних коливань відповідає закручуванню покриття відносно вертикальної осі. Третя форма власних коливань відповідає першому тону поступальних згинальних коливань поздовжніх рам (розгойдування в поздовжньому напрямку).

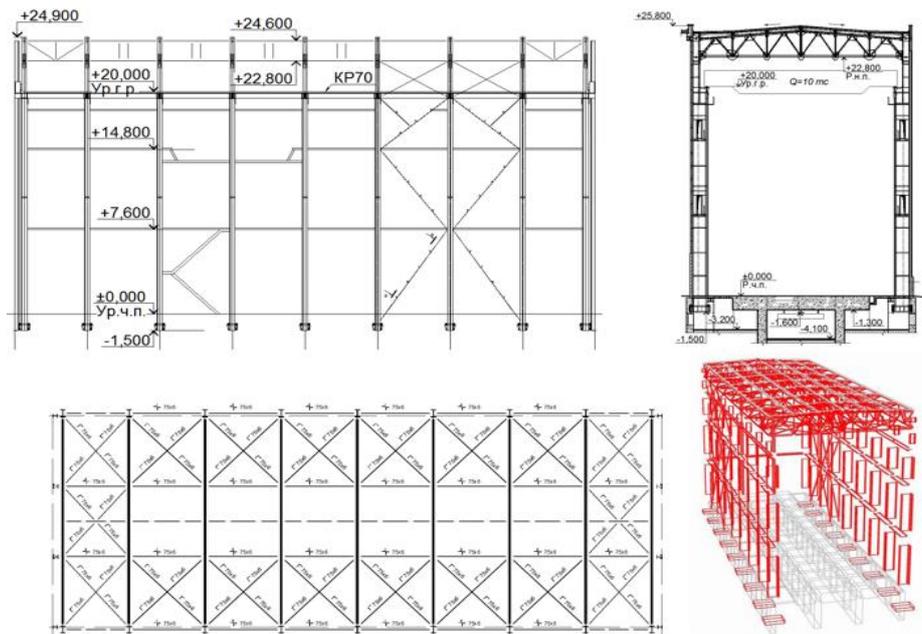


Рис. 1. Конструктивна схема будівлі, розрахункова модель

Ці форми характеризуються найбільшими амплітудами згинальних коливань у верхніх перерізах колон. Четверта форма власних коливань відповідає першому тону згинальних коливань конструкцій покриття з найбільшими амплітудами згинальних коливань ферм покриття. Далі йдуть складні просторові форми коливань з переважанням місцевих згинальних коливань колон і ферм покриття, крутильних коливань будівлі щодо вертикальної осі. Числові значення частот наведено у таблиці 1.

Зниження частоти поперечної форми коливань (першої форми) у разі руйнування (втрати) крайньої колони виникає асиметрія жорсткості, що призводить до зменшення жорсткості каркасу. При цьому зменшена частота першої форми коливань складає 1,1 Гц. Також змінюються форма коливань зі зміщенням максимуму амплітуди коливань – виникають локальні згини поясів ферми поблизу зниклої колони. Ферма переходить з двохопорної схеми до консольної схеми. Зростає згинальний момент у верхньому поясі ферми, напруження наближаються до межі міцності. Можна зробити висновок, що конструктивна система буде нестійка і це може привести до розширення зони обвалення на сусідні елементи.

Втрата (руйнування) вертикальних зв'язків по колонах призводить до зниження просторової жорсткості каркасу, особливо в торсійному напрямку. При цьому характерне зниження частоти другої форми коливань до 1,22 Гц та третьої форми до 1,38 Гц. Також змінюються форма коливань – виникає нерівномірне закручення (перекуси рам). Характерне збільшення кутових переміщень покриття, на які не розраховані вузли закріплення стінових панелей, плит покриття та опорних вузлів ферм. Обвалення конструкцій буде призводити до подальшого зменшення жорсткості і система буде нестійка. Це може спричинити прогресуюче обвалення покриття на сусідній ділянці.

Втрата однієї зі стропильних ферм спричиняє локальне порушення жорсткості покриття, що критично впливає на динамічні характеристики всієї конструктивної системи.

В результаті втрати (руйнування) ферми відбувається зниження частот 4-ї форми коливань до 4,68 Гц. Також змінюються форма коливань – різке зростання амплітуд коливань у напрямку, перпендикулярному до втраченої ферми. Зменшення жорсткості конструктивної системи призводить до зростання амплітуд коливань у суміжних фермах, які автоматично включаються у перенапружений режим бо працюють на згин

та кручення. Вичерпання несучої здатності суміжних ферм буде ініціювати каскадний обрив ферм покриття далі.

Власні частоти коливань будівлі залежать від жорсткості, маси та умов закріплення. Форми коливань та їх послідовність у спектрі частот визначаються співвідношеннями різних видів жорсткостей (табл. 1). Наприклад, жорсткість колон при згинанні в напрямку поперечної рами, поздовжньої рами, жорсткість при згинанні конструкцій перекриття та інше. Істотні пошкодження несучого елемента

(наприклад, колони, ригеля чи вузла з'єднання) можуть привести до зміни (зменшення) певного типу жорсткості будівлі. Відповідно відбудеться перебудова послідовності форм коливань відповідно до значень частот власних коливань (табл. 2). Частоти коливань також змінюються пропорційно до зменшення жорсткості, що зумовлено ушкодженнями. Таким чином, коли конструктивна система втрачає жорсткість, відбувається зміна динамічних характеристик.

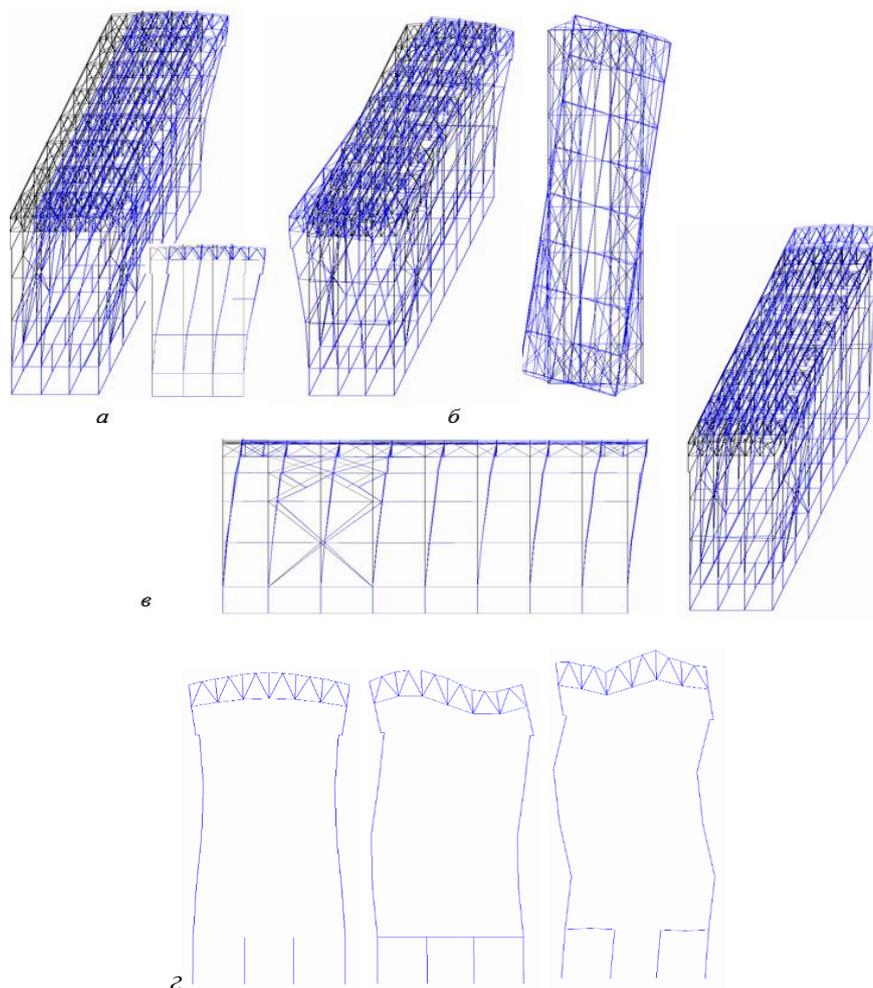


Рис. 2. Форми коливань: а – перша, б – друга, в – третя, з – четверта

Таблиця 1

Частоти та форми власних коливань будівлі

Форма коливань	Опис форм	Частота, Гц	Період, с
1 (рис.2,а)	Поперечне розгойдування рам	1,279	0,782
2 (рис.2,б)	Закручування даху (торсіонне)	1,682	0,595
3 (рис.2,в)	Повздовжнє розгойдування рам	2,078	0,481
4 (рис.2,г)	Вигини ферм покриття	6,412	0,156

Вплив динамічних характеристик на ризик розвитку прогресуючого обвалення

Зруйнований елемент	Основні зміни частот	Зміна форми коливань	Втрата жорсткості	Потенційний механізм обвалення	Ступінь загрози
Крайня колона	Перша форма до 1,10 Гц	Асиметрія, локальні згини поблизу колони	У поперечному напрямку	Перехід ферми до консольної схеми, перевантаження ферм	Високий ризик прогресуючого обвалення
Вертикальні зв'язки по колонах	Друга форма до 1,22 Гц, третя – до 1,38 Гц	Скручування рам, зсув максимуму амплітуд	Просторова жорсткість, особливо на кручення	Відмова стиків панелей, плит покриття, послідовне обвалення	Високий ризик прогресуючого обвалення
Стропильна ферма	Четверта форма до 4.68 Гц	Пік амплітуд в зоні втрати ферми, зростання коливань сусідніх ферм	Локальна жорсткість покриття	Каскадний обрив ферм у вигляді ланцюгової реакції	Високий ризик прогресуючого обвалення

Можна визначити залежність між локальним пошкодженням та перерозподілом жорсткостей будівлі. Аналізуючи ці зміни можна спрогнозувати зони, які можуть бути залучені до впливу на зниження опору до прогресуючого руйнування.

Якщо визначити динамічних характеристики (експериментально чи чисельно) можна виконати оцінку схильності конструктивної схеми до прогресуючого обвалення. Таким чином потрібно визначити перші 3–5 власних частот коливань, відповідні форми коливань та показники демпфування.

Суттєва зміна динамічної поведінки може свідчити про критичну втрату жорсткості та нестійкість будівлі до опору прогресуючому обваленню. Якщо жорсткість конструктивної системи (відповідно власні частоти коливань) суттєво знижуються це призведе до локальних зміщень у формах коливань та буде вказувати на потенційну «зону» руйнування.

Додатковий показник це аналіз характеристик демпфування. Власні коливання у конструктивній схемі будівлі без пошкоджень згасають за рахунок внутрішніх втрат енергії, тертя, властивостей матеріалів. Це ознака стійкої поведінки конструкції до опору прогресуючому обваленню.

Якщо виникає зниження жорсткості, коливання будуть згасати довше або можуть

наростати (резонансно або через накопичення енергії) при недостатньому демпфуванні. Наприклад, після втрати колони конструктивна система може перейти у динамічну нестійкість і можливі виникнення локальних коливань з високою амплітудою. Ці коливання будуть зосереджуватись у певних зонах конструктивної схеми та їм відповідатимуть місцеві форми коливань.

Якщо конструктивна система не може погасити ці коливання тоді будуть виникати додаткові динамічні навантаження на ділянці конструктивної системи. При досягненні критичних деформацій або втраті рівноваги інших елементів можливе каскадне руйнування.

Таким чином, критична зона щодо ризику прогресуючого обвалення конструктивної схеми може бути визначена як така, в якій: відносне зниження частоти перевищує поріг (наприклад, 25–30 %), амплітуда деформацій у формі коливань після пошкодження збільшується більш ніж на 50 %, з'являється локалізація деформацій – максимальні переміщення зосереджуються в одній зоні конструкції, одночасно спостерігається зниження локального демпфування чи затягнуте згасання колінь.

Згідно [10] розширена умова енергетичного підходу при оцінці поширення прогресуючого обвалення з урахуванням динамічних характеристик:

$$\gamma_d \cdot \sum m_i \times g \times h_i \geq \sum (0.5 \times F_{кр} \times \delta), \quad (1)$$

де γ_d – динамічний коефіцієнт, що враховує імпульсне навантаження, ударний ефект при падінні елементів, їх швидкість, демпфування, тертя між елементами, в'язкі втрати в матеріалі (1,5–3).

$m_i \times g \times h_i$ - потенційна енергія падіння всіх мас, що можуть залучатися до процесу обвалення (від висоти h_i до рівня обвалення);

$\sum(0.5 \times F_{кр} \times \delta)$ - енергія, яку конструкція або її елементи (включаючи зв'язки, перекриття, з'єднання) здатні поглинути без втрати стійкості;

$F_{кр}$ - граничне (максимальне) зусилля, яке здатен витримати елемент конструкції перед руйнуванням (може бути сила розтягу, зсуву, згину залежно від ситуації);

δ - відповідна деформація (переміщення) при цьому граничному зусиллі;

0.5 - коефіцієнт, який враховує, що в більшості випадків сила зростає від 0 до $F_{кр}$.

Динамічний коефіцієнт γ_d можна уточнити з урахуванням спектра частот та демпфування так, що у конструктивній системі з малим демпфуванням та низькими частотами коливань підсилюється імпульсний ефект:

$$\gamma_{d1} = \gamma_d \times (1 + \alpha_1 / \zeta + \alpha_2 / f_{min}), \quad (2)$$

де γ_d – базовий динамічний коефіцієнт, що враховує імпульсне навантаження, ударний ефект; α_1 , α_2 – коефіцієнти, визначаються чисельно або експериментально для конструктивної системи; ζ – демпфування (0,02...0,05 для сталевих конструкцій); f_{min} – мінімальна власна частота після пошкодження.

Праву частину (1) можна зменшити множителем, який враховує локалізацію деформацій у формі коливань, тобто структурну вразливість:

$$\sum(0,5 \times F_{кр} \times \delta) \times (1 - \lambda), \quad (3)$$

де λ – індикатор локалізації у формі коливань, відносна зміна деформаційної форми після пошкодження, чим більша λ , тим менше здатна конструкція до поглинання енергії (все концентрується в одному місці).

У прикладі, що розглядається (див. табл. 1, 2), для другої форми $f_{min} = 1,68$ Гц, $\zeta = 0,03$, $\gamma_d = 1,5$ до пошкодження. Після втрати ферми: $f_{min} = 1,22$ Гц, $\zeta = 0,03$, $\alpha_1 = 1$ для

надчутливих систем або в гіпотетичній межі нестійкості [8], $\alpha_2 = 0,5$ передбачає помірну чутливість до мінімальної частоти [8], $\gamma_{d1} = 1,5 \times (1 + 1/0,03 + 0,5 / 1,22) = 52$. Показує можливість реалізації гігантського динамічного ефекту.

Можна сформулювати завдання конструктивного формоутворення на основі динамічного аналізу для підвищення опору прогресуючому обваленню.

При проектуванні слід орієнтуватися на розподілені форми власних колінь, без концентрації деформацій в окремих зонах, $\lambda < 0,3$. Це досягається шляхом рівномірного розподілу жорсткості по всій системі.

Створювати резерви жорсткості у критичних напрямках – посилювати конструкцію саме у цих напрямках (наприклад, торсійні рамні зв'язки, просторові фахверки). Зниження частот не більше ніж на 20 %.

Якщо втрата однієї ферми викликає каскадне зниження частот, конструкцію слід формувати з незалежних жорсткісних блоків, щоб деформації не передавалися неконтрольовано на суміжні ферми.

Забезпечувати перші 3–5 власних частот $f_{min} > 3$ –4 Гц.

Контролювати форми коливань під час проектування, на етапі моделювання проводити аналіз зон з потенційно великою амплітудою, небажану асиметрію або перекося, локалізовані деформації після «умовного» видалення елемента.

Висновки

Використання динамічних коефіцієнтів (ударних множників), рекомендованих нормативними документами, є виправданим, але недостатнім без урахування динамічних характеристик конкретної конструкції.

Аналіз власних форм коливань конструкцій будівлі можуть відображати потенційно слабкі місця, де деформації та напруження в конструкціях будуть найбільшими. Це важливо при прогнозуванні механізму розвитку прогресуючого обвалення.

Результати дослідження можуть бути використані при оцінці вразливості існуючих будівель, а також при проектуванні нових

конструкцій, які будуть стійкими до прогресуючого обвалення згідно з сучасними вимогами безпеки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. UFC 4-023-03 (Including Change 4, 10 June 2024). Unified facilities criteria. Design of buildings to resist progressive collapse. (Department of defense USA).
2. General Service Administration Alternate path analysis & design guidelines for progressive collapse resistance (2016) URL: <https://www.gsa.gov/real-estate/design-and-construction/engineering-and-architecture/security-engineering>, Revision 1, January 28, 2016.
3. General Service Administration Alternate path analysis & design guidelines for progressive collapse resistance (2016) URL: <https://www.gsa.gov/real-estate/design-and-construction/engineering-and-architecture/security-engineering>, Revision 1, January 28, 2016.
4. American Society of Civil Engineers ASCE 76-23 : Standard for mitigation of disproportionate collapse potential in buildings and other structures ASCE Library (2023), 10.1061/9780784415931. URL: <https://ascelibrary.org/doi/book/10.1061/9780784415931>
5. UFC 4-023-07. Design to Resist the Effects of Accidental Explosions. Department of defense USA. 2008. URL: <https://www.wbdg.org/ffc/dod/unified-facilities-criteria-ufc/ufc-3-340-02>
6. UFC 3-340-01. Design and Analysis of Hardened Structures to Conventional Weapons Effects. Department of defense USA. 2002. URL: <https://www.wbdg.org/ffc/dod/unified-facilities-criteria-ufc/ufc-3-340-01>
7. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи (із Зміною №1 від 01.10.2007р. та Зміною № 2 від 01.06.2020). Київ : Мінбуд України, 2006. 60 с.
8. Барштейн М. Ф., Бородачев Н. М., Блюмина М. Я. и др. Динамический расчет сооружений на специальные воздействия. Под. ред. Б. Г. Коренева, И. М. Рабиновича. 1981. 215 с.
9. Давыдов И. И., Особенности расчета и защиты строительных конструкций от прогрессирующего обрушения. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2010. № 11. С. 38–46.
10. Starossek U. Progressive collapse of structures (Second edition), ICE Publishing, Westminster, London, 2017. DOI: 10.1680/pcos.61682; URL: <https://www.icevirtuallibrary.com/doi/book/10.1680/pcos.61682>

REFERENCES

1. UFC 4-023-03 (Including Change 4, 10 June 2024). Unified facilities criteria. Design of buildings to resist progressive collapse. (Department of defense USA).
2. General Service Administration Alternate path analysis & design guidelines for progressive collapse resistance (2016) URL: <https://www.gsa.gov/real-estate/design-and-construction/engineering-and-architecture/security-engineering>, Revision 1, January 28, 2016.
3. General Service Administration Alternate path analysis & design guidelines for progressive collapse resistance (2016) URL: <https://www.gsa.gov/real-estate/design-and-construction/engineering-and-architecture/security-engineering>, Revision 1, January 28, 2016.
4. American Society of Civil Engineers ASCE 76-23 : Standard for mitigation of disproportionate collapse potential in buildings and other structures ASCE Library (2023), 10.1061/9780784415931. URL: <https://ascelibrary.org/doi/book/10.1061/9780784415931>
5. UFC 4-023-07. Design to Resist the Effects of Accidental Explosions. Department of defense USA. 2008. URL: <https://www.wbdg.org/ffc/dod/unified-facilities-criteria-ufc/ufc-3-340-02>
6. UFC 3-340-01. Design and Analysis of Hardened Structures to Conventional Weapons Effects. Department of defense USA. 2002. URL: <https://www.wbdg.org/ffc/dod/unified-facilities-criteria-ufc/ufc-3-340-01>
7. *DBN V.1.2-2:2006. Navantazhennya i vplyvy (iz Zminoyu № 1 vid 01.10.2007 ta Zminoyu № 2 vid 01.06.2020)* [DBN V.1.2-2:2006. Loads and Effects (with Amendment No. 1 from 01.10.2007 and Amendment No. 2 from 01.06.2020)]. Kyiv : Ministry of Civil Engineering of Ukraine, 2006, 60 p. (in Ukrainian).
8. Barshtein M.F., Borodachev N.M., Blyumina M.Ya. et al. *Dinamicheskiy raschet sooruzheniy na spetsial'nyye vozdeystviya*. Pod. red. B.G. Koreneva, I.M. Rabinovicha [Dynamic Analysis of Structures under Special Loads; edited by B.G. Korenev and I.M. Rabinovich]. 1981, 215 p. (in Russian).
9. Davydov I.I. *Osobennosti rascheta y zashchyty stroytel'nykh konstruksyy ot prohressyruyushcheho obrusheniya* [Features of the Calculation and Protection of Building Structures from Progressive Collapse]. *Visnyk Prydniprovskoyi derzhavnoyi akademiyi budivnytstva ta arkhitektury* [Bulletin of the Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture]. 2010, no. 11, pp. 38–46. (in Russian).
10. Starossek U. Progressive collapse of structures (Second edition), ICE Publishing, Westminster, London, 2017, doi: 10.1680/pcos.61682. URL: <https://www.icevirtuallibrary.com/doi/book/10.1680/pcos.61682>

Надійшла до редакції: 21.12.2025.

УДК 624.04:519.85

DOI: 10.30838/UJCEA.2312.250226.63.1210

НОВІТНІ ПІДХОДИ ТА МЕТОДИ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЄКТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙ (огляд)

КОЖЕМЯКІНА І. Ф.^{1*}, канд. техн. наук, доц.,
САХАРЧУК С. В.², асп.,
ЗАВАРИКІН С. Л.³, асп.

^{1*} Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (099) 156-29-89, e-mail: kozhem.irina@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-6987-8936

² Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (093) 368-73-03, e-mail: sakharchuk.serhii@365.pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0009-0002-5037-2905

³ 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) 448-16-21, e-mail: zavarykin@gmail.com, ORCID ID: 0009-0000-0942-8247

Анотація. *Актуальність роботи.* Вирішення проблем сучасної інженерії, що пов'язані з безпекою та надійністю різноманітних споруд і систем, визначає актуальність теми. Для розв'язання цих проблем потрібні інноваційні підходи для проектування і розрахунку конструкцій. Оптимальне проектування конструкцій є пошуком «золотої середини» в сучасному інженерному аналізі, що спрямоване на підвищення ефективності, безпеки та стійкості систем у різних галузях, включаючи цивільне будівництво, аерокосмічну та автомобільну промисловість. Новітні підходи трансформували методи оптимізації, перетворивши їх з суто теоретичних розрахунків на практичний інструмент завдяки значним досягненням в обчислювальних технологіях. **Мета дослідження** – розглянути ключові методології, такі як оптимізація розмірів, форм та топології, та сучасні обчислювальні підходи, включаючи методи, диференціальні рівняння, стохастичну оптимізацію та інтеграцію машинного навчання. Оцінити ефективність методів через можливість їх застосування. **Методика.** Аналіз сучасних напрямків оптимального проектування. Особливу увагу приділити застосуванню цих методів у динамічному проектуванні та в умовах невизначеності, підкреслюючи їхню здатність вирішувати складні, багатовимірні проблеми. **Результати.** Виконано аналітичне дослідження сучасних методів оптимального проектування. Огляд висвітлює напрями розвитку оптимального проектування: стохастична, адаптивна, багатоцільова оптимізація, оптимізація при дії динамічних та сейсмічних навантажень; адитивне виробництво, що розширює межі можливого у проектуванні конструкцій. Висвітлено поточні виклики, такі як потреба в інтерпретованих моделях штучного інтелекту та масштабованість цифрових двійників, а також намічені майбутні напрями досліджень, спрямовані на подальше підвищення ефективності, надійності та екологічності оптимальних рішень.

Ключові слова: *оптимальне проектування конструкцій; топологічна оптимізація; оптимізація форми; стохастична оптимізація; машинне навчання; адитивне виробництво; динамічні навантаження; невизначені умови*

LATEST APPROACHES AND METHODS OF OPTIMAL STRUCTURAL DESIGN (overview)

KOZHEMIAKINA I.F.^{1*}, PhD, Assoc. Prof.,
SAKHARCHUK S.V.², PhD Stud.,
ZAVARYKIN S.L.³, PhD Stud.

^{1*} 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 (099) 156-29-89, e-mail: kozhem.irina@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-6987-8936

² 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 (093) 368-73-03, e-mail: sakharchuk.serhii@365.pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0009-0002-5037-2905

³ 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) 448-16-21, e-mail: zavarykin@gmail.com, ORCID ID: 0009-0000-0942-8247

Abstract. The relevance of the work. Addressing the challenges of modern engineering related to the safety and reliability of various structures and systems defines the relevance of this topic. Solving these challenges requires innovative approaches to the design and analysis of structures. Optimal design of structures represents a search for the “golden mean” in contemporary engineering analysis, aimed at improving efficiency, safety, and robustness across diverse fields, including civil engineering, aerospace, and the automotive industry. Recent advances have transformed optimization methods from purely theoretical constructs into practical tools, largely due to significant progress in computational technologies. **Purpose.** The objective is to review key methodologies – such as size, shape, and topology optimization – and modern computational approaches, including variational methods, differential equations, stochastic optimization, and the integration of machine learning, while assessing their effectiveness through potential applications. **Methodology.** The study involves an analytical review of current trends in structural optimization, with particular attention to their application in dynamic design and under uncertainty, emphasizing their ability to address complex, multidimensional problems. **The results.** An analytical investigation of contemporary methods of optimal design has been conducted. The review highlights major directions in the development of structural optimization: stochastic, adaptive, and multi-objective optimization; optimization under dynamic and seismic loads; and additive manufacturing, which expands the frontiers of structural design. Current challenges are outlined, including the need for interpretable artificial intelligence models and the scalability of digital twins, along with prospective research directions aimed at further enhancing the efficiency, reliability, and sustainability of optimal solutions.

Keywords: *structural optimization; topology optimization; shape optimization; stochastic optimization; machine learning; additive manufacturing; dynamic loads; uncertainty conditions*

Вступ. Проектування конструкцій за своєю суттю є складним, багатовимірним процесом, що вимагає визначення оптимальної кількості, розподілу, форми та розмірів елементів конструкції та їх взаємозв'язків. Метою часто є мінімізація витрат, збалансована з обмеженнями щодо експлуатаційної придатності та міцності, а також з урахуванням виробничих, логістичних та екологічних аспектів. Традиційні, ручні або ітераційні процеси проектування часто характеризуються своєю трудомісткістю. Вони нерідко призводять до псевдо оптимальних рішень, оскільки дослідження величезного, складного простору проектування для пошуку справжніх оптимумів є надзвичайно трудомістким. Як наслідок, інженери часто погоджуються на перше задовільне рішення, яке відповідає всім жорстким обмеженням, замість того, щоб шукати справжній оптимум. Ця ситуація, коли інженери погоджуються не на справжній оптимум, є не просто неефективною, а має економічні наслідки та вплив на безпеку. Конструкції запроектовані з великою матеріалоемністю призводять до марнотратства ресурсів, тоді як надмірна економія та недооцінення реальних умов роботи – створюють ризики. Нездатність звичайних методів ефективно

справлятися з нелінійністю, високою розмірністю, часовими ефектами та невизначеностями створює значний розрив між теоретично оптимальною продуктивністю та практичними результатами. Цей постійний розрив безпосередньо зумовлює безперервне та нагальне прагнення до більш досконалих обчислювальних методів в оптимальному проектуванні конструкцій. Обмеження традиційних підходів у вирішенні цих реальних складнощів мотивують розробку новітніх підходів, що мають на меті подолати цей розрив, надаючи інструменти для більш всебічного та враховуючого невизначеність проектування.

Оптимізація конструкцій, що піддаються динамічним та перехідним навантаженням, є складною задачею для обчислення. Вона вимагає розв'язання більш складних динамічних рівнянь руху, ніж статичний аналіз. Наприклад, сейсмічні навантаження вимагають ретельного аналізу часової історії [6]. Реальні структурні системи функціонують в умовах невизначеності, включаючи варіації властивостей матеріалів, виробничі допуски, непередбачувані зовнішні навантаження (наприклад, сейсмічні події, пориви вітру) та неточності моделювання. Покладання виключно на

детерміністичну оптимізацію в таких невизначених умовах може призвести до проєктів, які є або псевдо оптимальними (запроєктовані з великим запасом та неекономічними), або небезпечними (нездатними адекватно функціонувати в реальних умовах). Це підкреслює фундаментальну важливість оптимізації з урахуванням невизначеностей для забезпечення стійкості та продуктивності. Таким чином, постійна еволюція методології оптимального проєктування конструкцій є прямою відповіддю на зростаючі вимоги до реалізму, продуктивності та надійності в сучасному інженерному аналізі. Це свідчить про зміну філософії проєктування від простого досягнення «задовільних» проєктів до активного пошуку «оптимальних та ефективних» рішень, інтегруючи складну фізику та імовірнісні міркування з самого початку.

Мета дослідження. Дослідження новітніх підходів та методів оптимального проєктування конструкцій. Класифікація методів оптимізації. Оцінка ефективності методів через можливість їх застосування. Виявлення поточних викликів впровадження, нових тенденцій. Розглянути ключові методології та сучасні обчислювальні підходи, включаючи методи, диференціальні рівняння, стохастичну оптимізацію та інтеграцію машинного навчання.

Методика. На підставі аналізу сучасної літератури провести дослідження методів оптимізації, в тому числі у динамічному проєктуванні та в умовах невизначеності, підкреслюючи їхню здатність вирішувати складні, багатовимірні проблеми.

Основні результати досліджень. Оптимальне проєктування конструкцій традиційно поділяється на три основні категорії, кожна з яких зосереджена на різних аспектах змінних проєктування, але часто доповнює одна одну в комплексному процесі проєктування.

1. Оптимізація розмірів (Size Optimization). Цей метод зосереджений на визначенні оптимальних фізичних розмірів

заздалегідь визначених елементів конструкції, таких як товщина плити, площі поперечного перерізу балок або розміри стержнів у решітчастих структурах [7]. Важливо, що це досягається без зміни загальної форми або топології конструкції. Наприклад, оптимізація розмірів може бути ефективно використана для оптимізації окремих стержнів у решітчастих структурах.

2. Оптимізація форми (Shape Optimization). Оптимізація форми передбачає зміну зовнішніх меж або геометричного розташування конструкції для досягнення конкретних цілей проєктування. Ці цілі часто включають мінімізацію маси, зменшення концентрації напружень. Наприклад, Weiser et al. (2023) продемонстрували оптимізацію форми сталевих оболонкових конструкцій, що піддаються невизначеним умовам навантаження, підкреслюючи її дієвість [2]. Крім того, глибоке навчання з підкріпленням було успішно застосовано для оптимізації форми аеродинамічного профілю, ефективно генеруючи високоефективні проєкти [4].

3. Топологічна оптимізація (Topology Optimization). Топологічна оптимізація є найбільш загальним та гнучким методом оптимального проєктування конструкцій. Вона визначає оптимальний розподіл матеріалу в межах заздалегідь визначеного простору проєктування, дозволяючи створювати нові межі, такі як отвори або складні внутрішні структури. Це часто призводить до неінтуїтивних, високоефективних та легких проєктів [3]. Виконується як початковий етап проєктування, передуючи оптимізації форми та розмірів, оскільки вона визначає оптимальне розташування матеріалу для сприйняття навантаження [7].

У контексті топологічної оптимізації, її «загальність» означає, що вона може досліджувати набагато ширший простір проєктування. Що часто призводить до дуже нетрадиційних та неінтуїтивних форм, які перевершують ті, що досягаються за допомогою фіксованих форм або розмірів. Здатність топологічної оптимізації генерувати складні, органічні та неінтуїтивні геометрії безпосередньо зумовлює

необхідність передових технологій виробництва, насамперед адитивного виробництва (АВ). Традиційні методи виробництва часто нездатні відтворювати такі складні форми. Тому досягнення в топологічній оптимізації та АВ взаємопов'язані. Тобто, ТО забезпечує оптимальний проєкт, а АВ надає засоби для його реалізації. Це створює зворотний зв'язок, де прогрес одного розширює межі іншого. Цей зв'язок свідчить про фундаментальний зсув у парадигмі «проєктування-виробництво». Проєктування більше не обмежується виробничими обмеженнями, а виробничі можливості розширюються, щоб відповідати вимогам оптимізованих проєктів. Це передбачає майбутнє, де структурні форми все більше визначатимуться складними критеріями продуктивності та ефективністю використання матеріалів, а не традиційними геометричними або виробничими обмеженнями.

Ключові аспекти застосування топологічної оптимізації включають:

– *Ламіновані композитні структури.* Chandrasekhar et al. (2022) застосували топологічну оптимізацію, використовуючи критерії оптимальності, до ламінованих композитних плит та оболонок [3]. Їхнє дослідження показало, що оптимальний розподіл матеріалу значною мірою залежить від ламелей, що розташовувались перехресно та забезпечували вищу жорсткість на згин. Це підкреслює її корисність для передових, анізотропних матеріалів.

– *Стійкість до руйнування.* Yvonnet та Da (2024) надали всебічний огляд методів топологічної оптимізації, спеціально спрямованих на підвищення стійкості до руйнування [14]. Це включає підходи, засновані на напруженнях, класичній мінімізації податливості, пошкодженні від втоми та включенні нелінійних ефектів матеріалу, з особливим акцентом на проєктуванні двофазних матеріалів, придатних для 3D-друку.

– *Широке промислове застосування.* Топологічна оптимізація широко застосовується в таких галузях, як

аерокосмічна, автомобільна промисловість та будівництво висотних будівель, завдяки її здатності створювати легкі, але міцні конструкції.

– *Імплантовані медичні пристрої.* Вона має вирішальне значення для проєктування медичних імплантатів для вирішення таких проблем, як екранування напружень, сприяння остеоінтеграції, забезпечення індивідуалізації та зменшення ваги, часто за допомогою проєктування складних решітчастих структур [10].

Сучасне оптимальне проєктування елементів конструкцій значною мірою спирається на передові обчислювальні підходи, які дозволяють вирішувати складні фізичні явища та оптимізаційні задачі.

1) *Методи оптимізації, що керовані рівняннями в частинних похідних (Partial differential equation constrained optimization methods).* Ці методи формують математичну основу для задач оптимального проєктування конструкцій, де фізична поведінка конструкції (наприклад, деформація, напруження, теплопередача) точно описується диференціальними рівняннями.

– *Фреймворк MultiShape.* Roden et al. (2024) розробили MultiShape, відкритий Matlab-фреймворк, який використовує метод спектральних елементів для ефективного розв'язання різних типів диференціальних рівнянь, включаючи стаціонарні та залежні від часу, нелінійні та нелокальні рівняння, навіть на складних геометріях зі складними граничними умовами [12]. Його сумісність з алгоритмами оптимізації робить його універсальним та зручним інструментом для складного проєктування, керованого фізичними процесами.

– *Нелінійна оптимізація.* Значним викликом у реальних структурних задачах є нелінійність. Güttel та Pearson (2022) вирішили цю проблему, запропонувавши спектрально-часовий метод Ньютона-Крилова для нелінійної оптимізації залежними від часу диференціальних рівнянь [5]. Цей метод забезпечує швидкі та точні рішення, які є стійкими до варіацій розмірів сітки та кількості точок локації за часом,

виявившись більш ефективним для нелінійних задач, ніж попередні схеми відкладеної корекції.

– *Аналіз похибок з використанням нерівностей зважених норм.* Для забезпечення надійності та точності чисельних рішень, Antil et al. (2018) застосували теорію ваг Мукенхаупта та зважених просторів Соболева до аналізу похибок та дискретизації задач оптимізації, диференційних рівнянь [1]. Цей підхід пропонує простіший аналіз на основі простору Гільберта та забезпечує майже оптимальні швидкості збіжності для складних задач, що включають неоднорідно еліптичні рівняння, точкові спостереження або сингулярні джерела.

2) *Стохастична оптимізація та оптимізація в умовах невизначеності (Stochastic Optimization and Optimization under Uncertainty).* Ця категорія методів є ключовою для вирішення властивих невизначеностей, таких як варіації властивостей матеріалів, дефекти при виготовленні та непередбачувані зовнішні навантаження. Метою є досягнення оптимізації, як за нормативних, так і за невизначених умов.

– *Адаптивні стратегії вибірки.* Weiser et al. (2023) представили адаптивні методи вибірки для стохастичної оптимізації з урахуванням ризику та детермінованих обмежень [2]. Цей інноваційний підхід значно зменшує обчислювальні витрати, пов'язані з оцінкою градієнтів, шляхом динамічного коригування розміру вибірки, тим самим роблячи великомасштабні стохастичні задачі швидшими в обчисленні та практичними для інженерного проєктування.

– *Динамічні навантаження в умовах невизначеності.* Vitola (2020) розробив топологічний оптимізаційний фреймворк на основі методу кінцевих елементів, спеціально розроблений для конструкцій, що піддаються перехідним динамічним навантаженням в умовах невизначеності [13]. Цей фреймворк ефективно використовує метод розкладання нелінійної системи для ефективною кількісної оцінки

невизначеності, забезпечуючи оптимізацію проєктування, яка враховує імовірнісні варіації навантажень та властивостей матеріалів.

3) *Пошукові алгоритми (Metaheuristic Algorithms).* Ці апроксимаційні алгоритми пошуку є цінними для розв'язання складних, нелінійних та багатоцільових задач оптимізації, де отримання інформації про градієнт є складним або неможливим, або коли простір проєктування роз'єднаний та схильний до локальних оптимумів. Генетичні алгоритми та оптимізація роєм частинок широко застосовується для таких завдань, як оптимізація розподілу матеріалу, зменшення ваги та підвищення несучої здатності в різних конструкціях.

– *Багатоцільова оптимізація.* Zavala et al. (2014) дослідили багатоцільові метаевристики, відзначивши їхню ефективність у цивільному та промисловому проєктуванні для збалансування суперечливих цілей, таких як мінімізація інвестиційних витрат при максимізації безпеки, що зазвичай призводить до оптимальних рішень [7].

– *Еволюційні стратегії (ES).* Papadrakakis et al. (2000) успішно застосували еволюційні стратегії (ES) для оптимізації конструкцій під сейсмічним навантаженням [8]. Їхня робота продемонструвала, що ES є дієвими для задач з дискретними змінними проєктування та можуть давати більш економічні та покращені проєкти порівняно зі спрощеними підходами аналізу, навіть якщо це відбувається за рахунок вищих обчислювальних витрат.

4) *Інтеграція машинного навчання (Integration of Machine Learning).* Машинне навчання (МН) швидко трансформує оптимальне проєктування конструкцій, забезпечуючи передові можливості, такі як прогностичне моделювання, складне розпізнавання образів та адаптивні стратегії оптимізації.

– *Глибоке навчання з підкріпленням (Deep Reinforcement Learning).* Dussauge et al. (2023) продемонстрували успішне застосування глибокого навчання з

підкрипленням для оптимізації форми аеродинамічного профілю [4]. Це показало здатність DRL ефективно генерувати високоефективні проекти у складних, фізично обґрунтованих задачах, часто нагадуючи існуючі оптимальні форми, знайдені в літературі.

– *Генеративний дизайн (Generative design)* [11]. Методи МН все частіше використовуються для генеративного дизайну, дозволяючи автоматично створювати нові конструктивні проекти на основі заданих критеріїв. Це включає потенціал включення естетичних та творчих критеріїв, а також значне збільшення різноманітності дизайну за межі того, що можуть уявити люди.

Незважаючи на свої перспективи, МН у проектуванні конструкцій стикається зі значними викликами. Вимоги до даних, особливо для великих наборів даних, залишається обмежуючим фактором. Існує також критична потреба в більш інтерпретованих моделях штучного інтелекту (щоб уникнути проблем «чорного ящика») та дієві методи, які можуть надійно працювати з меншими, більш реалістичними наборами даних, що зустрічаються в інженерній практиці.

Ці досягнення в обчислювальних підходах не є ізольованими розробками, а скоріше синергетичною еволюцією. Експоненціальне зростання обчислювальної потужності дозволяє практично застосовувати раніше теоретичні методи, такі як складна оптимізація диференціальних рівнянь, або високоточна кількісна оцінка невизначеності. Властиві обмеження традиційних градієнтних методів (наприклад, для нелінійних, дискретних задач) призвели до зростання метаевристичних алгоритмів, які пропонують можливості глобального пошуку. Згодом, величезний обсяг даних, що генерується цими передовими методами, у поєднанні з орієнтацією на високооптимізовані рішення, зумовив впровадження машинного навчання. МН, у свою чергу, може підвищити ефективність традиційної оптимізації, надаючи точні

моделі, прискорюючи аналіз або більш інтелектуально керуючи простором пошуку рішень. Це створює сприятливий цикл, де кожен прогрес живить та покращує інші. Таким чином, галузь швидко рухається до гібридного, багато-парадигмального підходу до оптимального проектування конструкцій. Жоден метод не є універсальним рішенням. Майбутнє полягає в інтелектуальному поєднанні цих різноманітних підходів – наприклад, використання МН для початкового генеративного проектування та швидкого прогнозування, застосування методу диференціальних рівнянь для високоточного аналізу та тонкого налаштування, з інтеграцією стохастичних методів для забезпечення ефективних розрахунків в умовах невизначеності. Усі ці процеси можуть бути додатково прискорені за допомогою такого методу, як адаптивна вибірка. Це передбачає появу складної, взаємопов'язаної екосистеми обчислювальних інструментів, яка дозволить інженерам вирішувати задачі безпрецедентного масштабу та складності.

Оптимізація під дією динамічних та сейсмічних навантажень (Optimization under Dynamic and Seismic Loads). Оптимізація конструкцій для динамічних та сейсмічних навантажень є складним завданням у структурній інженерії та значним викликом у проектуванні конструкцій через складні часозалежні та інерційні ефекти, які принципово змінюють реакцію конструкції порівняно зі статичними умовами. Papadrakakis et al. (2000) продемонстрували, що суворий динамічний підхід, зокрема використання аналізу часової історії (наприклад, метод Ньюмарка) зі штучно згенерованими акселерограмами, дає більш економічні та значно покращені проекти для конструкцій під сейсмічним навантаженням порівняно зі спрощеними аналізами спектру реакції, прийнятими сейсмічними нормами [8; 9]. Це відбувається за рахунок вищих обчислювальних витрат, що підкреслює вирішальний компроміс між оптимальністю/точністю проектування та обчислювальними витратами.

Робота Vitola (2020) додатково підкреслила необхідність оптимізації динамічної реакції [13]. Його дослідження показало, що оптимальні проекти в умовах перехідних динамічних навантажень значно відрізняються від тих, що отримані в статичних умовах, особливо при високих швидкостях навантаження. Це означає, що статична оптимізація може призвести до псевдо оптимальних або навіть небезпечних проектів для динамічних сценаріїв. Це не просто академічна дискусія про обчислювальну ефективність, це критично важливе практичне міркування для безпеки конструкцій та економічної доцільності. Покладання на спрощені статичні припущення для конструкцій, що піддаються динамічним або сейсмічним навантаженням, може призвести або до ненадійних конструкцій (схильних до руйнування), або до конструкцій з надмірною масою (марнотратних з точки зору матеріалів та ресурсів). Властива складність динамічних явищ (наприклад, часова залежність, інерційні ефекти, резонанс) безпосередньо зумовлює високу обчислювальну складність, пов'язану з точним динамічним аналізом. Що у свою чергу, стимулює дослідження та розробку методів підвищення обчислювальної ефективності (таких як зменшення порядку моделі, еквівалентні статичні навантаження та адаптивні стратегії вибірки, як ті, що запропоновані Weiser et al.), щоб зробити динамічну оптимізацію практичною та економічно доцільною для широкого інженерного застосування. Тенденція полягає у підвищенні точності динамічного аналізу та оптимізації, з урахуванням зростаючих обчислювальних вимог. Це вказує на те, що майбутнє проектування конструкцій буде все більше визначатися потребою в реалістичному моделюванні динамічних явищ для досягнення вищої продуктивності та безпеки.

Оптимізація під дією перехідних навантажень (Optimization under Transient Loads). Оптимізація під дією перехідних навантажень охоплює широкий спектр застосувань, включаючи проектування

конструкцій для витримування ударів, контроль поширення пружних хвиль та зменшення шуму та вібрації. Vitola розробив фреймворк на основі методу кінцевих елементів для топологічної оптимізації в умовах перехідних динамічних навантажень. Цей фреймворк ефективно використовував метод суміжних змінних (adjoint variable method) для ефективного аналізу чутливості та метод рухомих асимптот (Method of Moving Asymptotes) для процедури оптимізації, демонструючи свою ефективність для складних задач, що залежать від часу [13]. Обчислювальні витрати оптимізації динамічної реакції часто вимагають інтеграції методів, спрямованих на зменшення обчислювальних витрат. Такі методи, як зменшення порядку моделі (model order reduction method) та еквівалентні статичні навантаження (equivalent static loads), досліджуються для підвищення ефективності при збереженні прийняттого рівня точності.

Врахування невизначеності є критично важливим аспектом сучасного оптимального проектування конструкцій, оскільки реальні системи функціонують у середовищі, де параметри та навантаження не є детермінованими.

Невизначеність може виникати з різних джерел, включаючи властивості матеріалів, виробничі допуски, зовнішні навантаження (наприклад, сейсмічні, вітрові) та неточності моделювання. Таким чином, інженерна спільнота переживає зміну парадигми, переходячи від чисто детерміністичного до враховуючого невизначеність проектування. Це означає, що замість того, щоб проектувати для однієї «найгіршої» або «номінальної» події, сучасні підходи прагнуть створити рішення, які є стійкими та надійними в діапазоні можливих сценаріїв. Це відображає зростаюче усвідомлення того, що безпека та економічна ефективність у реальному світі нерозривно пов'язані з розумінням та керуванням невизначеністю.

Для вирішення проблеми невизначеності розроблено два основні підходи:

1. *Робастна оптимізація проектування (Robust design optimization)* – спрямована на

мінімізацію чутливості продуктивності конструкції до варіацій невизначених параметрів, тим самим забезпечуючи стабільну та передбачувану поведінку [13].

2. *Оптимізація проектування на основі надійності (Reliability-based design optimizatio)* – зосереджена на забезпеченні того, щоб імовірність відмови конструкції залишалася нижче заздалегідь визначеного цільового рівня, таким чином безпосередньо керуючи ризиком [13].

Обидва підходи часто вимагають значних обчислювальних ресурсів, оскільки вони включають імовірнісний аналіз, який може бути дуже інтенсивним. Для зменшення розрахунків використовуються такі методи, як розкладання поліноміального хаосу (polynomial chaos expansion), що дозволяє ефективно кількісно оцінювати невизначеність шляхом представлення випадкових змінних за допомогою поліноміальних базисних функцій.

Новітні тенденції та трансформаційні технології. Галузь оптимального проектування конструкцій продовжує розвиватися, інтегруючи нові технології та концепції, які обіцяють подальшу трансформацію інженерної практики.

Адитивне виробництво та оптимальне проектування конструкцій (Additive Manufacturing and Structural Optimization). Адитивне виробництво, широко відоме як 3D-друк, революціонує виробництво, дозволяючи створювати легкі, складні структури з мінімальними відходами матеріалів та споживанням енергії [14]. Ця технологія ідеально поєднується з топологічною оптимізацією, оскільки вона може реалізувати складні, неінтуїтивні геометрії, які є результатом оптимізаційних алгоритмів, але неможливі для традиційних методів виробництва.

Адитивне виробництво дозволяє виготовляти конструкції зі складними внутрішніми решітчастими структурами та оптимізованими шаблонами заповнення, що значно зменшує вагу при збереженні або навіть підвищенні механічних властивостей.

Розвиток адитивного виробництва включає широкий спектр матеріалів, таких

як метали, полімери, композити та кераміка, що дозволяє проектувати конструкції з індивідуальними властивостями для конкретних застосувань.

У галузі медичних пристроїв адитивне виробництво у поєднанні з топологічною оптимізацією дозволяє проектувати індивідуальні імплантати, які вирішують такі проблеми, як екранування напружень, сприяння остеоінтеграції, забезпечення індивідуалізації та зменшення ваги, що значно покращує результати для пацієнтів [10].

Машинне навчання (МН) та штучний інтелект (ШІ) у проектуванні конструкцій (Machine Learning (ML) and Artificial Intelligence (AI) in Structural Design). Інтеграція МН та ШІ є однією з найбільш трансформаційних тенденцій у проектуванні конструкцій. Ці технології дозволяють розробляти прогностичні моделі, розпізнавати складні закономірності та створювати адаптивні стратегії оптимізації.

Алгоритми машинного навчання можуть автоматично генерувати нові проекти на основі заданих критеріїв, значно прискорюючи процес проектування та досліджуючи безліч рішень, що є досить виснажливим процесом для людини. Машинне навчання може використовуватися для швидкого прорахунку ефективності конструкції, зменшуючи потребу в трудомістких симуляціях, особливо в поєднанні з обчислювальною гідродинамікою (Computational Fluid Dynamics) для оптимізації форми [4].

Незважаючи на величезний потенціал, впровадження машинного навчання у проектування конструкцій стикається з викликами, такими як потреба у великих, якісних наборах даних, а також необхідність розробки більш інтерпретованих моделей ШІ, щоб інженери могли розуміти та довіряти результатам "чорного ящика". В перспективі ШІ може забрати на себе всю рутинну роботу та залишити інженерам лише аналітичні процеси.

Багатоцільова оптимізація для сталого розвитку (Multi-Objective Optimization for Sustainability). Зростаюча увага до сталого

розвитку призвела до розробки багатоцільових оптимізаційних підходів, які прагнуть збалансувати суперечливі цілі, такі як економічна ефективність, екологічний вплив та соціальні вигоди. Це особливо актуально для міського планування та проектування великих інфраструктурних проєктів, де оптимізація може призвести до значного зменшення вуглецевого сліду та більш ефективного використання ресурсів.

Ці новітні тенденції та трансформаційні технології формують об'єднану систему інновацій. Адитивне виробництво надає засоби для реалізації складних, оптимізованих проєктів. Машинне навчання та штучний інтелект покращують процес проектування, роблячи його швидшим, розумнішим та здатним досліджувати більші об'єми рішень. Цифрові двійники забезпечують зворотний зв'язок у реальному часі для безперервної оптимізації та моніторингу. А багатоцільова оптимізація інтегрує ці технології для досягнення цілей сталого розвитку. Ця конвергенція обіцяє майбутнє, де проектування конструкцій буде не тільки більш ефективним та безпечним, але й більш адаптивним, стійким та інтелектуальним.

Висновки

Огляд новітніх підходів та методів оптимального проектування конструкцій підкреслює глибоку трансформацію цієї галузі, технологій та зростаючими вимогами до ефективності, безпеки та сталого розвитку. Від фундаментальних методів оптимізації розмірів, форми та топології до складних обчислювальних підходів, таких як оптимізація диференційних рівнянь, стохастичні методи та інтеграція машинного навчання, інженери тепер мають у своєму розпорядженні безпрецедентний набір інструментів.

Топологічна оптимізація виявилася найбільш універсальним методом, здатним генерувати неінтуїтивні, високоефективні форми, що значно перевершують традиційні проєкти. Її потенціал повністю розкривається у поєднанні з адитивним

виробництвом, яке дозволяє виготовляти складні геометрії.

Зростаюча складність реальних умов експлуатації вимагає переходу від детерміністичного до враховуючого невизначеність проектування. Робастна оптимізація проектування (RDO) та оптимізація проектування на основі надійності (RBDO), посилені такими методами, як адаптивна вибірка та розкладання поліноміального хаосу, є критично важливими для забезпечення надійності та стійкості конструкцій.

Оптимізація під дією динамічних та перехідних навантажень є складною, але необхідною умовою. Динамічні підходи, хоч і важкі в обчисленні, дають значно кращі та економічніші проєкти порівняно зі спрощеними статичними аналізами.

Машинне навчання та штучний інтелект змінюють парадигму проектування, надаючи можливості для генеративного дизайну, прогностичного моделювання та автоматизації. Вони дозволяють досліджувати величезні об'єми рішень та впроваджувати складні критерії, які раніше були недосяжними.

Майбутнє оптимального проектування конструкцій полягає в об'єднанні різноманітних підходів. Поєднання машинного навчання для швидкого дослідження та диференційних рівнянь для точного аналізу, стохастичних методів для керування ризиками та адитивне виробництво створює потужну екосистему для інновацій.

Майбутні напрямки досліджень (Future Research Directions). Подальший розвиток оптимального проектування конструкцій вимагатиме вирішення кількох ключових проблем та дослідження нових напрямків.

Необхідна розробка більш "прозорих" моделей ІІІ (пояснювальний ІІІ), які дозволяють інженерам розуміти та перевіряти їхні рішення. Крім того, критичним залишається створення великих, високоякісних, загальнодоступних наборів даних моделей для машинного навчання у проектуванні конструкцій, а також розробка

дієвих методів, які ефективно працюють з меншими або неповними наборами даних.

Майбутні роботи можуть включати більш складні моделі матеріалів (наприклад, нелінійні, анізотропні, з урахуванням пошкоджень) та враховувати великі

деформації та механізми руйнування в оптимізаційних фреймворках. Це дозволить створювати проєкти, які є більш реалістичними та надійними в екстремальних умовах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Antil H., Otárola E. & Salgado A. J. Some applications of weighted norm inequalities to the error analysis of PDE-constrained optimization problems. *IMA Journal of Numerical Analysis*. 2018. № 38 (2). Pp. 852–883. DOI: 10.1093/imanum/drx018.
2. Beiser F., Keith B., Urbainczyk S. & Wohlmuth B. Adaptive sampling strategies for risk-averse stochastic optimization with constraints. *IMA Journal of Numerical Analysis*. 2023. № 43 (6). Pp. 3729–3765. DOI: 10.1093/imanum/drac083.
3. Chandrasekhar K. N. V., Bhikshma V. & Bhaskara Reddy K. U. Topology optimization of laminated composite plates and shells using optimality criteria. *Journal of Applied and Computational Mechanics*. 2022. № 8 (2). Pp. 405–415. DOI: 10.22055/jacm.2019.31296.1858.
4. Dussauge T. P., Sung W. J., Fischer O. J. P. & Mavris D. N. A reinforcement learning approach to airfoil shape optimization. *Scientific Reports*. 2023. № 13 (1). Pp. 9753. DOI: 10.1038/s41598-023-36560-z.
5. Güttel S. & Pearson J. W. A spectral-in-time Newton–Krylov method for nonlinear PDE-constrained optimization. *IMA Journal of Numerical Analysis*. 2022. № 42 (2). Pp. 1478–1499. DOI: 10.1093/imanum/drab011.
6. Málaga-Chuquitaype C. Machine Learning in Structural Design: An Opinionated Review. *Frontiers in Built Environment*. 2022. № 8. Pp. 815717. DOI: 10.3389/fbuil.2022.815717.
7. Zavala G. R., Nebro A. J., Luna F. & Coello Coello C. A. A survey of multi-objective metaheuristics applied to structural optimization. *Structural and Multidisciplinary Optimization*. 2014. № 49 (4). Pp. 537–558. DOI: 10.1007/s00158-013-1022-y.
8. Papadrakakis M., Lagaros N. D. & Plevris V. Optimum Design of 3D Structures under Static and Dynamic Loading Conditions. *Fourth International Colloquium on Computation of Shell & Spatial Structures (IASS-IACM 2000)*. 2000. Pp. 4–7. URL: https://www.researchgate.net/profile/Nikos-Lagaros/publication/259396676_Conference_V6/data/00b7d52b6a1c3bb739000000/Conference-V6.pdf
9. Papadrakakis M., Lagaros N. & Plevris V. Optimum design of structures under seismic loading. *In European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering*. 2000, Barcelona. URL: <http://congress2.cimne.com/eccomas/proceedings/eccomas2000/pdf/753.pdf>
10. Peto M., García-Ávila J., Rodríguez C. A., Siller H. R., Lopes da Silva J. V. & Ramírez-Cedillo E. Review on structural optimization techniques for additively manufactured implantable medical devices. *Frontiers in Mechanical Engineering*. 2024. № 10. Pp. 1378174. DOI: 10.3389/fmech.2024.1378174.
11. Ramos A., Angel V. G., Siqueiros M., Sahagun T., Gonzalez L. & Ballesteros R. Reviewing additive manufacturing techniques: Material trends and weight optimization possibilities through innovative printing patterns. *Materials*. 2025. № 18 (6). Pp. 1377. DOI: 10.3390/ma18061377.
12. Roden J. C., Mills-Williams R. D., Pearson J. W. & Goddard B. D. MultiShape : A spectral element method, with applications to dynamic density functional theory and PDE-constrained optimization. *IMA Journal of Numerical Analysis*. 2024. DOI: 10.1093/imanum/drae066.
13. Vitola R. J. Design optimization of structures subjected to transient dynamic loads under uncertainty. 2020. Drexel University. URL: https://researchdiscovery.drexel.edu/esploro/fulltext/graduate/Design-Optimization-of-Structures-Subjected-to/991014695539104721?repId=12324295410004721&mId=13324295400004721&institution=01DRXU_INST
14. Yvonnet J. & Da D. Topology optimization to fracture resistance: a review and recent developments. *Archives of Computational Methods in Engineering*. 2024. № 31(4). Pp. 2295–2315. DOI: 10.1098/rspa.2019.0861.

REFERENCES

1. Antil H., Otárola E. and Salgado A.J. Some applications of weighted norm inequalities to the error analysis of PDE-constrained optimization problems. *IMA Journal of Numerical Analysis*. 2018, no. 38 (2), pp. 852–883. DOI: 10.1093/imanum/drx018.
2. Beiser F., Keith B., Urbainczyk S. and Wohlmuth B. Adaptive sampling strategies for risk-averse stochastic optimization with constraints. *IMA Journal of Numerical Analysis*. 2023, no. 43 (6), pp. 3729–3765. DOI: 10.1093/imanum/drac083.
3. Chandrasekhar K.N.V., Bhikshma V. and Bhaskara Reddy K.U. Topology optimization of laminated composite plates and shells using optimality criteria. *Journal of Applied and Computational Mechanics*. 2022, no. 8 (2), pp. 405–415. DOI: 10.22055/jacm.2019.31296.1858.

4. Dussauge T.P., Sung W.J., Fischer O.J.P. and Mavris D.N. A reinforcement learning approach to airfoil shape optimization. *Scientific Reports*. 2023, no. 13 (1), pp. 9753. DOI: 10.1038/s41598-023-36560-z.
5. Güttel S. and Pearson J.W. A spectral-in-time Newton–Krylov method for nonlinear PDE-constrained optimization. *IMA Journal of Numerical Analysis*. 2022, no. 42 (2), pp. 1478–1499. DOI: 10.1093/imanum/drab011.
6. Málaga-Chuquitaype C. Machine Learning in Structural Design : An Opinionated Review. *Frontiers in Built Environment*. 2022, no. 8, pp. 815717. DOI: 10.3389/fbuil.2022.815717.
7. Zavala G.R., Nebro A.J., Luna F. and Coello Coello C.A. A survey of multi-objective metaheuristics applied to structural optimization. *Structural and Multidisciplinary Optimization*. 2014, no. 49 (4), pp. 537–558. DOI: 10.1007/s00158-013-1022-y.
8. Papadrakakis M., Lagaros N.D. and Plevris V. Optimum Design of 3D Structures under Static and Dynamic Loading Conditions. Fourth International Colloquium on Computation of Shell & Spatial Structures (IASS-IACM 2000). 2000, pp. 4–7. URL: https://www.researchgate.net/profile/Nikos-Lagaros/publication/259396676_Conference_V6/data/00b7d52b6a1c3bb739000000/Conference-V6.pdf
9. Papadrakakis M., Lagaros N. and Plevris V. Optimum design of structures under seismic loading. In European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering. 2000, Barcelona. URL: <http://congress2.cimne.com/eccomas/proceedings/eccomas2000/pdf/753.pdf>
10. Peto M., García-Ávila J., Rodríguez C.A., Siller H.R., Lopes da Silva J.V. and Ramírez-Cedillo E. Review on structural optimization techniques for additively manufactured implantable medical devices. *Frontiers in Mechanical Engineering*. 2024, no. 10, pp. 1378174. DOI: 10.3389/fmech.2024.1378174.
11. Ramos A., Angel V.G., Siqueiros M., Sahagun T., Gonzalez L. and Ballesteros R. Reviewing additive manufacturing techniques: Material trends and weight optimization possibilities through innovative printing patterns. *Materials*. 2025, no. 18 (6), pp. 1377. DOI: 10.3390/ma18061377.
12. Roden J.C., Mills-Williams R.D., Pearson J.W. and Goddard B.D. MultiShape : A spectral element method, with applications to dynamic density functional theory and PDE-constrained optimization. *IMA Journal of Numerical Analysis*. 2024. DOI: 10.1093/imanum/drae066.
13. Vitola R.J. Design optimization of structures subjected to transient dynamic loads under uncertainty. Drexel University. 2020. URL: https://researchdiscovery.drexel.edu/esploro/fulltext/graduate/Design-Optimization-of-Structures-Subjected-to/991014695539104721?repId=12324295410004721&mId=1332429540004721&institution=01DRXU_INST
14. Yvonnet J. and Da D. Topology optimization to fracture resistance : a review and recent developments. *Archives of Computational Methods in Engineering*. 2024, no. 31 (4), pp. 2295–2315. DOI: 10.1098/rspa.2019.0861.

Надійшла до редакції: 18.11.2025.

УДК 692.2:725.94:69.059

DOI: 10.30838/UJCEA.2312.250226.74.1211

СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ СИСТЕМИ ЗАХИСНИХ СПОРУД ЦИВІЛЬНОГО НАСЕЛЕННЯ В УКРАЇНІ

НИКІФОРОВА Т. Д.^{1*}, *докт. техн. наук, проф.*,
ВЕРТЕЛЕЦЬКИЙ О. О.², *асп.*

^{1*} Кафедра залізобетонних і кам'яних 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 (056) 756-33-66, e-mail: t.d.nikiforova@ust.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-0688-2759

² Кафедра залізобетонних і кам'яних 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 (056) 756-33-66, e-mail: verteletskiy.oleksandr@365.pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0009-0001-0599-0707

Анотація. У статті здійснено комплексний аналіз сучасного стану та перспектив подальшого розвитку системи захисних споруд для цивільного населення в Україні в умовах триваючої збройної агресії та підвищених загроз громадській безпеці. Особлива увага приділяється трансформації системи цивільного захисту у відповідь на нові безпекові виклики, що потребують не лише оперативного реагування, а й впровадження довгострокових стратегічних рішень. Детально розглянуто сучасні підходи до впровадження захисних елементів в архітектурне та конструктивне проєктування нових будівель. Особливий акцент зроблено на забезпеченні конструктивної надійності та опору екстремальним зовнішнім впливам, зокрема вибухам, ударним хвилям, прогресуючому обваленню, ракетним і артилерійським обстрілам, дії уламків та іншим форс-мажорним обставинам. Окрім нового будівництва, у статті проаналізовано можливості адаптації, реконструкції та модернізації вже існуючих будівель і підземних споруд з метою їх перетворення на повноцінні захисні укриття для населення. Розглянуто практичні підходи до переобладнання підвальних приміщень, підземних паркінгів та інших придатних просторів. Окреслено інженерні рішення, спрямовані на посилення несучих елементів, підвищення жорсткості конструкцій та мінімізацію ризику прогресуючого руйнування. Значну увагу приділено технічним заходам, зокрема герметизації приміщень, встановленню вибухостійких дверей і захисних конструкцій, облаштуванню безпечних і доступних аварійних виходів, а також впровадженню надійних систем вентиляції з фільтраційними можливостями. У статті також висвітлено організаційні та нормативно-правові аспекти. Розглянуто вимоги до інженерного забезпечення, класифікацію захисних споруд, норми щодо місткості та правила їх утримання. Особлива увага приділяється реалізації відповідних заходів, серед яких фінансове забезпечення, координація між органами державної влади та приватними забудовниками, технічний нагляд і підвищення рівня обізнаності населення.

Ключові слова: захисні споруди; укриття; інженерні рішення; стійкість конструкцій; зовнішні впливи; нормативні вимоги; безпека мешканців

CURRENT STATE AND DEVELOPMENT PROSPECTS OF THE CIVILIAN PROTECTIVE STRUCTURES SYSTEM IN UKRAINE

NIKIFOROVA T.D.^{1*}, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,
VERTELETSKIY O.O.², *Postgrad. Stud.*

^{1*} Department of Reinforced Concrete and Stone Structures, 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 (056) 756-33-66, e-mail: t.d.nikiforova@ust.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-0688-2759

² Department of Reinforced Concrete and Stone Structures, 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 (056) 756-33-66, e-mail: verteletskiy.oleksandr@365.pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0009-0001-0599-0707

Abstract. The article provides a comprehensive analysis of the current state and future development prospects of the system of protective structures for the civilian population in Ukraine under conditions of ongoing armed aggression and heightened threats to public safety. Special attention is given to the transformation of the civil protection system in response to new security challenges, which require not only prompt response but also the implementation of long-term strategic solutions. Modern approaches to integrating protective elements into the architectural and structural design of

new buildings are examined in detail. Particular emphasis is placed on ensuring structural reliability and resistance to extreme external impacts, including explosions, shock waves, progressive collapse, missile and artillery shelling, fragment impacts, and other force majeure circumstances. In addition to new construction, the article analyzes the possibilities for adapting, reconstructing, and modernizing existing buildings and underground structures in order to convert them into fully functional protective shelters for the population. Practical approaches to converting basements, underground parking facilities, and other suitable spaces are considered. Engineering solutions aimed at strengthening load-bearing elements, increasing structural rigidity, and minimizing the risk of progressive collapse are outlined. Considerable attention is devoted to technical measures, including the sealing of premises, installation of blast-resistant doors and protective structures, arrangement of safe and accessible emergency exits, and implementation of reliable ventilation systems with filtration capabilities. The article also addresses organizational and regulatory aspects. It examines requirements for engineering support, classification of protective structures, occupancy standards, and maintenance rules. Particular attention is given to the implementation of relevant measures, including financial support, coordination between state authorities and private developers, technical supervision, and raising public awareness.

Keywords: *protective structures; shelters; engineering solutions; structural resilience; external threats; regulatory requirements; resident safety*

Вступ. Повномасштабне вторгнення в Україну показало неспроможність країни забезпечити захист цивільних громадян. Особливістю цієї війни стала велика кількість загиблого населення в перші місяці війни. До цього призвели багато факторів серед них: невідповідність чинного законодавства та державних будівельних норм щодо захисту цивільного населення, недостатня кількість захисних споруд та бомбосховищ, які не були розраховані для тривалого перебування людей у ньому, їх технічний стан та недоступність (велика відстань, обмежена кількість місць, а то й взагалі зачинені двері). Внаслідок масованих атак на об'єкти енергетичної інфраструктури відбувалися тривалі відключення електроенергії, що зумовлювало припинення роботи ліфтового обладнання у багатоповерхових житлових будинках. Це призводило до неможливості своєчасної евакуації маломобільних груп населення (осіб з інвалідністю, вагітних жінок, людей похилого віку), які вимушено залишалися у квартирах під час обстрілів, що підвищувало ризик їх травмування чи загибелі. Додатковим фактором небезпеки стала рекомендація органів місцевої влади використовувати підвали та підвальні приміщення житлових будинків як укриття під час повітряних тривог. Однак зазначені приміщення у переважній більшості випадків не відповідають конструктивним та захисним вимогам і не забезпечують належного рівня безпеки населення від

ударної хвилі та уламків у разі руйнування будівель.

Стаття 32 кодексу цивільного захисту населення України визначає в яких видах спорудах підлягають укриттю певні категорії населення (працівники) під час надзвичайних ситуацій та мирний час. До таких споруд належать найпростіші укриття – споруда фортифікаційного типу, споруда підземного простору, цокольне або підвальне приміщення, в якому можливе тимчасове перебування людей.

Згідно кодексу цивільного захисту України: до фонду захисних споруд цивільного захисту належать сховища, протирадіаційні укриття, швидко споруджувані споруди подвійного призначення із властивостями сховища або протирадіаційного укриття та найпростіші укриття [1].

Основна частина. Питання післявоєнного відновлення країни, а також захист населення в умовах війни і подальшого існування України поряд з країною агресором сприяли створенню громадської містобудівної організації «РЕНЕСАНС». Ця організація об'єднала багатьох фахівців різних галузей, які консультують містобудівні суб'єкти по відновленню нашої країни.

ГО «РЕНЕСАНС» має висококваліфікованих сертифікованих спеціалістів з багаторічним досвідом у різних сферах містобудування, архітектори, військові інженери, землевпорядкування, проектувальники, будівельні експерти,

керівники будівельних компаній, наукові співробітники й викладачі, науковці держуправління, юристи, економісти, лідери громадської думки.

Завдяки всім цим спеціалістам була представлена програма заходів по сучасним засобам захисту цивільного населення.

Робітники ГО «РЕНЕСАНС» запропонували проектні рішення по створенню безпечного простору в наявних підвальних приміщеннях (підвалах), шляхом підсилення конструкцій в підвальних приміщеннях (рис. 2).

Проект підсилення перекриття підвального приміщення у двох варіантах:

- монолітна залізобетонна оболонка (рис. 1а);
- створення сталевого каркасу під перекриттям, для запобігання обвалення плити перекриття (рис. 1б).

Одним із прикладів практичної реалізації конструктивних рішень є застосування сталевого каркаса для підсилення перекриттів під час реконструкції підвальних приміщень у м. Одеса. Запропоновані заходи з ремонту та переобладнання дають змогу адаптувати підвали житлових будинків для використання їх як найпростіших укриттів. Для підвищення рівня захисту необхідним є додаткове укріплення прорізів у зовнішніх стінах, які не використовуються як входи чи виходи. Рекомендованим технічним рішенням є облаштування зовнішнього периметра стін бар'єрними елементами у вигляді мішків із піском або землею чи шляхом спорудження габіонних конструкцій (рис. 2).

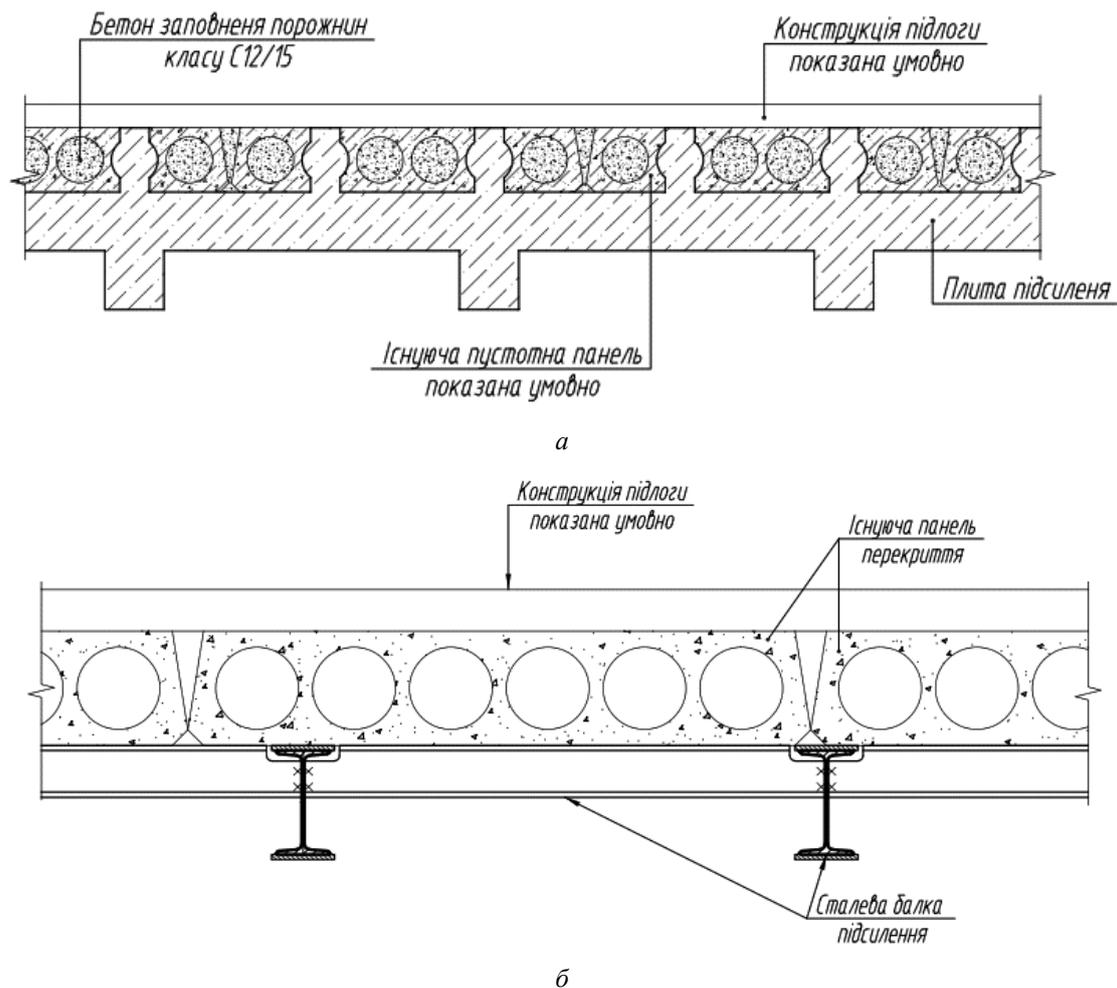


Рис. 1. Приклади підвищення захисту плит перекриття:
а – монолітна залізобетонна оболонка; б – металевий каркас [1]



Рис. 2. Укриття в підвалі цегляних будинків з перекриттям пустотними залізобетонними плитами [1]

Габіони виконують функцію буферного шару, що знижує дію ударної хвилі та уламків, а також сприяє підвищенню захисних властивостей цивільних споруд, зокрема укриттів найпростішого типу. Важливою перевагою таких конструкцій є відсутність потреби у розробленні проектної документації, застосуванні спеціалізованої будівельної техніки чи залученні будівельних організацій. Монтаж габіонних захисних елементів може бути виконаний безпосередньо мешканцями будинків.

Для укріплення підвальних приміщень, що використовуються як сховища чи укриття в житлових будинках, дошкільних та навчальних закладах, доцільно застосовувати габіони пірамідальної форми. Таке конструктивне рішення мінімізує ризик обвалу ґрунту при тривалій експлуатації та підвищує надійність захисних споруд.

Відстань від стін, габарити і форму бар'єра з габіонів на плані розраховують в кожному випадку окремо. Це залежить від різних факторів: місцевості, об'єкту, типу наповнення тощо. В спокійний час такі об'єкти можуть слугувати елементом благоустрою.

За визначенням нормативних документів тільки частина (більша або менше половини висоти) підвальних і цокольних приміщень розташована нижче поверхні землі. Інша

частина підвальних і цокольних приміщень знаходиться вище поверхні землі, а тому така ж вразлива, як і надземні поверхи.

Більшість панельних житлових будинків, які збудовані після 1956 року в Україні взагалі не мають підвалів, тільки технічне приміщення, в якому розташовані комунікації та інженерне обладнання. Після потрапляння снаряду в такий будинок, він майже повністю руйнувався разом з перекриттям підвалів чи підвальних приміщень, які не витримували ваги зруйнованих частин будинку. Тому люди, які ховались в цих приміщеннях майже завжди гинули під уламками.

Для будинків з панелей, які мають тільки технічне приміщення запропоновані наступні конструктивні заходи [1]:

- зниження рівня підлоги;
- підвищення несучої здатності стін та перекриття, за допомогою створення монолітної залізобетонної конструкції;
- створення аварійного (запасного) виходу за межі обвалення будинку, за допомогою підземного тунелю;
- відокремлення й прокладка комунікацій та інженерного обладнання в захисних жолобах та металевих футлярах (рис. 3).

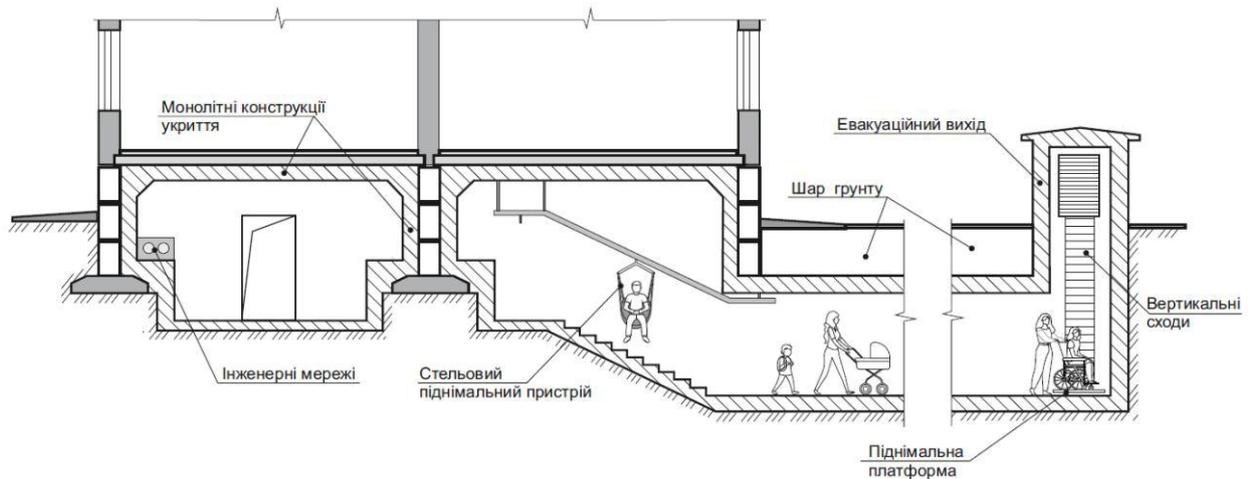


Рис. 3. Сховище в технічному підвалі панельного будинку [1]

Підвальні приміщення після підвищення захисту конструкцій шляхом влаштування тамбурів, з установкою в них герметичних дверей; обладнання водопостачання та санітарно-гігієнічними приміщеннями, можна перетворити на сховище.

Доступ та евакуацію маломобільних людей забезпечать входи та виходи обладнані підіймальними пристроями на стелі і вертикальними підіймачами з можливістю механічної дії, у випадку нестачі електроенергії [1].

Громадське об'єднання «РЕНЕСАНС» вивчило й проаналізувало досвід різних країн світу з питання захисту цивільного населення у надзвичайний період та стану війни й запропонувало систему захисту населення, основним принципом якого є швидкий доступ до укриття в будь-якій частині міста.

Пропонуючи цю програму були враховані чинні будівельні норми, законодавчі акти та вимоги для маломобільних груп населення.

У житлових будинках пропонується створення укриттів і сховищ у підвалах та підвальних приміщеннях цих будинків або під землею біля житлових будинків, а також захисного простору на поверхнях, так звані побутові притулки.

Побутові притулки – це окремі приміщення, комори, ліфтові холи у внутрішній частині будинку, захищені стінами з підвищеними захисними властивостями. Вони будуть захищати від

ударної хвилі від вибуху і знаходитимуться в хвилинній доступності в межах поверху.

З досвіду війни стало видно, що конструкції будинку з монолітного бетону можуть витримати навіть пряме ракетне попадання. Прикладом цього є будинок в Маріуполі, в якому вціліла ліфтова шахта монолітного бетону а також частина приміщень біля неї (рис. 4).



Рис. 4. Вціліла частина будинку в Маріуполі [2]

Наступним кроком у захисті цивільного населення мають стати сховища у підземному просторі будинків або під прибудинковою територією групи будинків.

Наприклад, розташоване на 2-му від поверхні землі поверсі укриття під паркінгом, яке матиме додатковий захист у вигляді ще одного перекриття над паркінгом (рис. 5) [2].

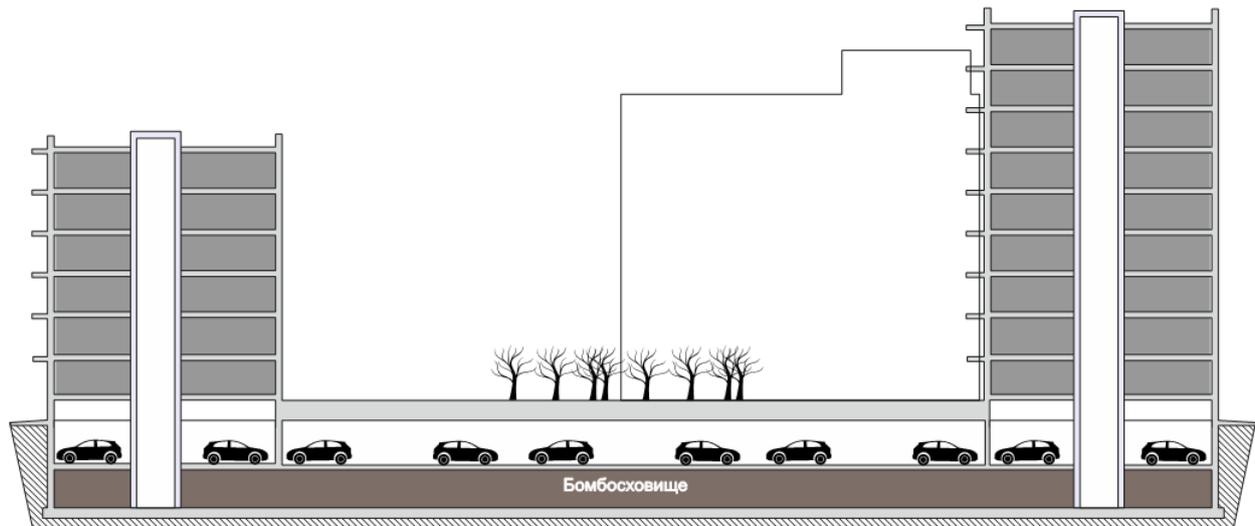


Рис. 5. Підземне укриття житлового кварталу [2]

Ще однією ланкою на захисті цивільного населення має стати комплекс приміщень, об'єднаних одним коридором – блок родинних сховищ [2].

Перший блок – це сховище підвищеної комфортності нагадує смарт-квартиру, де є все, що потрібно для перебування протягом тривалого часу і знаходиться у власності однієї родини. Спальне місце для родини з двох осіб слугує розкладний диван, для

чотирьох осіб – додатково двоповерхове ліжко (рис. 6). Розмір найменшого родинного укриття повинен відповідати габаритам одного машино-місця в паркінгу, а площа й обладнання укриття, відповідати потребам і фінансам власника. Родинне сховище повинно мати спальні місця (ліжка чи диван), місце для їдальні з можливістю готувати їжу, санвузол. Воно повинно бути пристосоване для користування малорухливих людей у колісному кріслі (рис. 6)

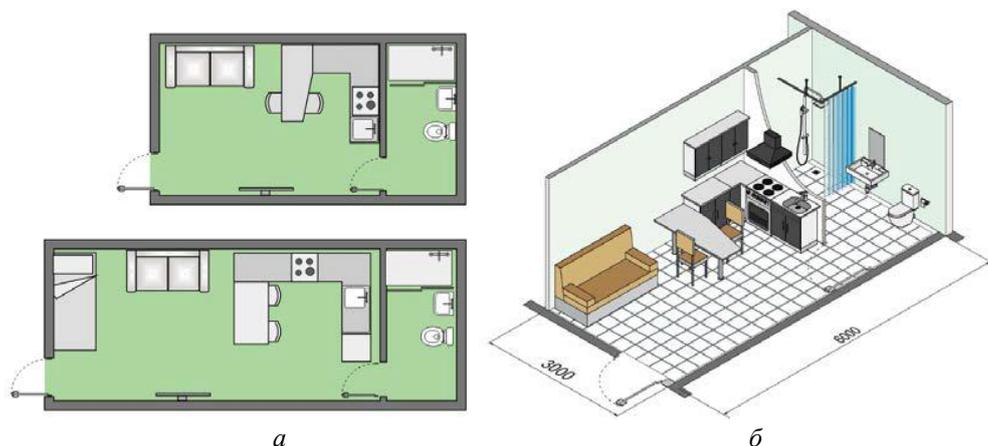


Рис. 6. Родинні сховища: а – плани сховища на двох і чотирьох осіб; б – візуалізація сховища на двох осіб [2]

Другий блок – це блоки розраховані на декілька сімей, з окремими спальними місцями, але спільними приміщеннями для готування їжі з кухонним обладнанням, санвузлом з душевою кабінною, кімнатами для відпочинку та спілкування.

Третій блок – це блок муніципальних укриттів для людей, котрі не мають грошей, щоб придбати родинне сховище чи навіть окреме спальне приміщення у сховищі колективної власності. Ці сховища повинні фінансуватись державою.

Всі ці приміщення також повинні бути пристосованими для користування мало мобільними людьми у колісних кріслах (рис. 7). В окремих блоках передбачене місце для шаф, де зберігають харчі, ліки, постільну білизну, одяг, тощо. Такий блок родинного сховища знаходиться у колективній власності ОСББ.

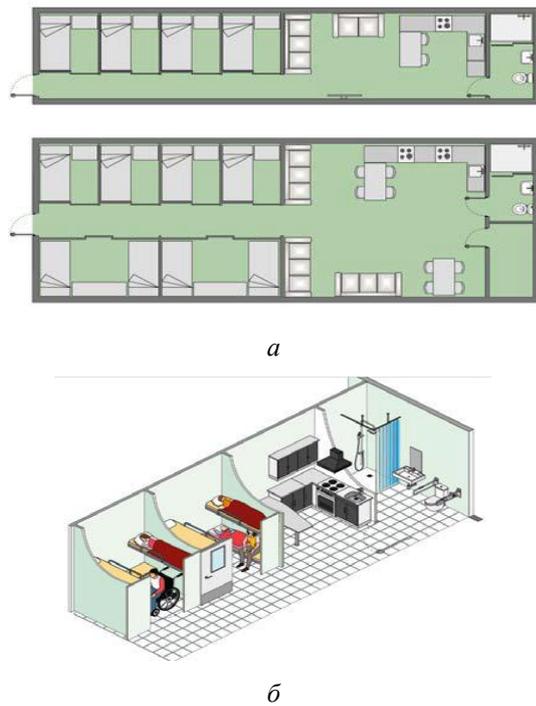
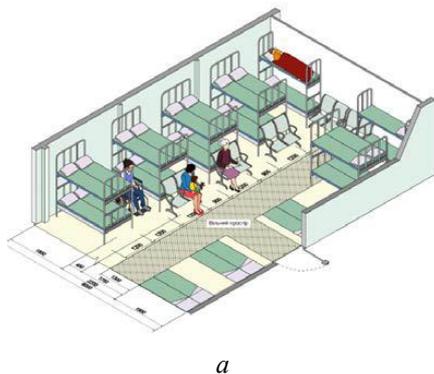


Рис. 7. Приклад сховища колективної власності ОСББ: а – плани сховища; б – візуалізація частини сховища [2]

В ньому має бути спільні спальні приміщення з двоповерховими ліжками, санвузлом, їдальні з можливістю приготувати їжу, невеликою кімнатою для зберігання продуктів, кімнатами для відпочинку і спілкування (рис. 8).



а



б

Рис. 8. Приклад сховища муніципальної власності: а – спальня кімната; б – спільна кімната [2]

Кожна родина матиме спальне приміщення від 4,0 м², подібно купе в потязі, є місце для зберігання «тривожної» валізи, одягу, білизни. У спокійний час, муніципальні сховища можна використовувати як хостел або під зали для фітнесу, тощо [2].

Додатково було вивчено житлові будинки, їх конструктив та об'ємно-планувальні рішення на виявлення безпечних місць, які б могли мінімізувати ураження населення від обстрілів.

Житловий фонд України – це переважно панельні будинки, будування яких розпочалося після 2-ї світової війни на початку 50-х років минулого століття. Це в нас 5-ти, 9-ти, і 16-ти поверхові будинки, які різні за конструктивною схемою, але об'єднані за прогресуючим обваленням (руйнування всіх панелей вище точки ураження, а іноді всього прогону). Отже, безпечних місць на поверхах панельних будинків немає.

Війна показала, що монолітні і каркасно-монолітні будинки дуже стійкі до руйнування. Проте лише каркас з монолітного бетону має стійкість до руйнування, а зовнішні та внутрішні стіни лише виконують теплозахисні функції, бо зроблені з легкобетонних блоків (газо- та пінобетон). Найбезпечніше місце у монолітно-каркасних будинках є ліфтовий хол, тому що знаходиться в середині будинку мінімум за 2-ма стінами [3]. Таке приміщення часто має броньовані двері, а найголовніше міцні бетонні стіни (рис. 9).

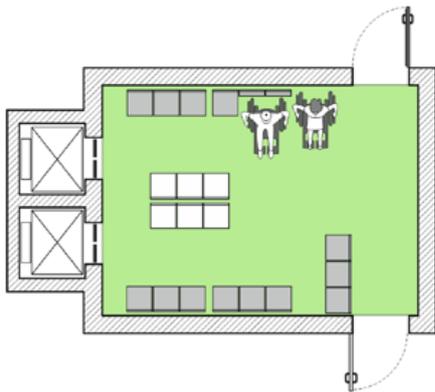


Рис. 9. Укриття у ліфтовому холі житлових будинків [3]

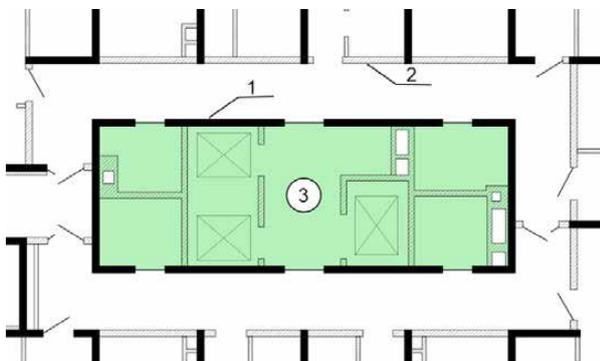


Рис. 10. Фрагмент плану монолітно-каркасного будинку: 1 – залізобетонні елементи каркаса; 2 – легкобетонні елементи каркаса; 3 – укриття [3]

Під час тривоги, у ліфтовому холі можуть перебувати усі мешканці поверху, треба лише встановити стільці та виділити місце для дитячих візків та маломобільних людей на колісному кріслі. Решта приміщень не може слугувати укриттям, бо простір між квартирами займають перегородки з газо- чи пінобетону, які не захищають ні від прямого удару ракетою, ні від вибухової хвилі та навіть уламків (рис. 10).

У нових цегляних будинках безпечне місце знаходиться поблизу внутрішніх

сходів. Захист забезпечується мінімум 2-ма стінами: зовнішньою товщиною 51–64 см і внутрішньою товщиною не менше 38 см. Після проведення додаткових робіт по підвищенню захисту стін цього простору, можна отримати безпечне укриття «між двома стінами» (рис. 11).

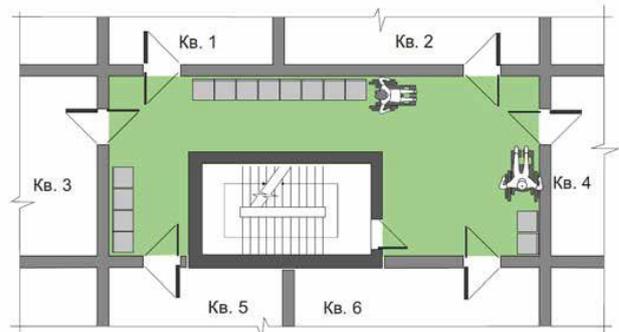


Рис. 11. Укриття біля внутрішніх сходів [3]



Рис. 12. Приклад укриття на поверхсі житлових будинків [3]

Додаткові роботи, по підвищенню захисту простору «між двома стінами», повинні робитись на всіх поверхах будинку, особливо на останньому, яке включає покриття поверху. Звісно такі роботи займуть певний час та грошей, але це буде більш вигідно, ніж робити окреме укриття поблизу будинку. Перебувати, під час тривоги, в такому укритті тривалий час, забезпечить встановлення стільців та лав з відкидним сидінням, щоб не займати зайве місце (рис. 12).

В Україні ще є цегляні будинки з бетонним перекриттям побудовані за коридорною системою планування. Ці будинки побудовані до 50-х років минулого століття за трипрогоною системою. Середній прогін цих будинків – коридор, тобто простір «між двома стінами». Тому за допомогою додаткових робіт з підвищення

захисних властивостей стін коридора, він може стати безпечним приміщенням, тобто укриттям «між двома стінами».

Влаштуванням укриттів «між двома стінами», поблизу внутрішньої сходової клітки чи у ліфтовому холі, може займатись лише товариства співвласників за свій кошт. Тому для забезпечення створення таких укриттів необхідне створення державної програми для забезпечення отримання безвідсоткових кредитів, представниками товариств співвласників [3].

У новому ДБН В.2.2-5:2023 «Захисні споруди цивільного захисту», для підвищення захисту споруд або їх частин, котрі розташовані вище позначки землі, встановлюються габіони, наповнені сипучим матеріалом, вони також використовуються для захисту найпростіших укриттів в підвалах і цокольних приміщеннях (рис. 13).

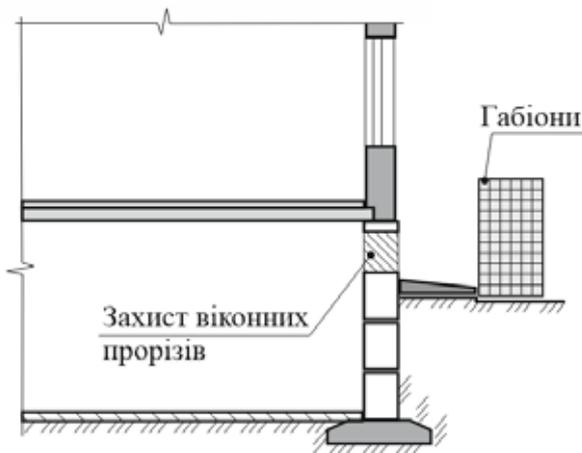


Рис. 13. Схема захисту найпростішого укриття [4]

Габіони споруджують вздовж стін приміщень, тим самим слугуючи додатковою захисною стіною яка знизить силу ураження. Для такої стіни використовують військові габіони квадратної форми або габіони циліндричної форми, які використовують у ландшафтному дизайні для створення клумб, вуличних меблів, вертикальних конструкцій, декоративних елементів огорожі для насаджень.

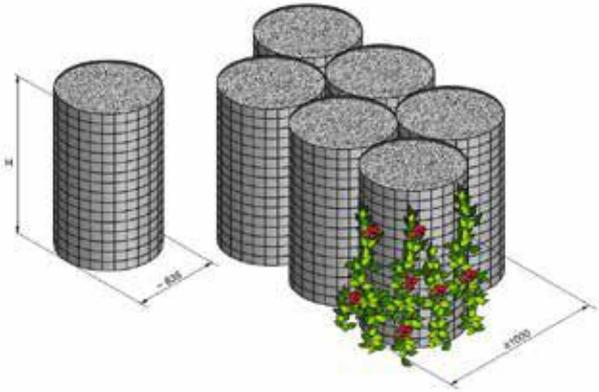


Рис. 14. Стіна з габіонів у шаховому порядку [4]

Наприклад, варіант стіни з габіонів циліндричної форми розташованих у шаховому порядку, діаметр форми 0,6 м. Ці габіони можна збирати на місці силами мешканців без допомоги спецтехніки, з сіток довжиною 2 м. вага такого габіона буде вдвічі легша, за стандартний військовий габіон, а стійкість навіть вища. Розміщення габіонів у шаховому порядку сприяє зростанню стійкості під дією поперечного навантаження (рис. 14). Стіни із габіонів слід розміщувати на відстані 1–1,2 м від стіни будинку, висота стіни буде залежати від висоти стіни, котра виступає вище рівня землі.

Габіон, що виконує не тільки декоративну, а й захисну функцію, потрібно заповнювати не камінням, яке в разі потрапляння в габіон, підсилить дію ураження, а виключно ґрунтовою сумішшю, найбільш захисні властивості має пісок та супісок. Нормативні документи показують, що шар піску товщиною в 1 м може поглинути вражаючу силу так само, як бетонна стіна товщиною 25–30 см [4].

Учасники ГО «РЕНЕСАНС» проаналізували попадання снарядів, ракет, шахедів в житлові будинки, і дійшли висновку, що більшість травм, під час удару, люди отримують із-за уламків конструкцій з: кам'яних, металевих, дерев'яних матеріалів, скла, пластику, тощо. Тому був запропонований ще один варіант укриття у житлових будинках, шляхом створення захищеного міжквартирного простору. За допомогою підсилення арматурою внутрішніх несучих стін, захищеною

подвійним шаром бетону. Такий захищений простір назвали укриття-вестибюль, він є

альтернативою підземним і підвальним укриттям (рис. 15).



Рис. 15. План міжквартирного захищеного простору у житловому будинку [5]

Автори ідеї пропонують розглядати внутрішній простір міжквартирних вестибюлів, як укриття подвійного призначення. В залежності від конструктивних елементів, інженерних систем, герметичності, санітарних та протипожежних вимог, класифікувати такі укриття-вестибюлі:

1. укриття – вестибюль I-го типу, клас наслідків можливої небезпеки СС-1, горючість матеріалів – НГ, автономна система вентиляції, броньовані двері, спеціальний захист фасаду сходового маршу;

2. укриття – вестибюль II-го типу, клас наслідків небезпеки СС-2, горючість матеріалів – Г-1, автономна система вентиляції та пожежогасіння, броньовані двері, металеві обойми кріплення дверей сходово-ліфтового тамбуру, спеціальний захист фасаду сходового маршу, тощо.

3. укриття – вестибюль III-го типу, клас наслідків СС-3, горючість матеріалів – НГ, автономна система вентиляції, сплінкерне пожежогасіння, броньовані двері, металеві обойми кріплення дверей ліфтового тамбуру, спеціальний захист фасаду сходового маршу.

В малоповерхових будівлях ліфту немає, тому план приміщення укриття – вестибюля буде відрізнятися. Ймовірність руйнування

конструкцій та об'єктів різного призначення, від дії на них ударних хвиль різної інтенсивності, визначалася за їх стійкістю до можливих навантажень, проте реальних експериментів та обстежень не відбувалось, а робочі креслення не робилися [5].

Висновки

На основі аналізу сучасного стану та перспектив розвитку системи захисних споруд цивільного населення в Україні в умовах збройної агресії та підвищеної загрози для безпеки громадян встановлено:

1. Чинна нормативна база та вітчизняне законодавство у сфері містобудування не враховують специфічних умов воєнного стану та потреб цивільного населення у захисті від бойових загроз.

2. У зв'язку з неможливістю організації повної евакуації населення необхідним є створення безпечних умов проживання та укриття в межах підконтрольних територій.

3. Умовно безпечними зонами у багатоповерхових будинках є ліфтові холи, сходові клітки, коридори, які можуть використовуватися для тимчасового перебування населення під час обстрілів.

4. Переорієнтація з масового будівництва нових укриттів на укріплення та адаптацію існуючих будівель, зокрема

підвальних приміщень, є економічно доцільною.

5. Пристосування підвалів під укриття не потребує відселення мешканців та не порушує режиму експлуатації житлових будинків, що робить цей підхід більш раціональним з позиції швидкості реалізації.

6. Для підвищення захисних властивостей найпростіших укриттів доцільним є використання габйонів як конструктивно-простих і водночас декоративних елементів. Конструктивні параметри габйонних укриттів (відстані до стін, геометрію, варіанти інтеграції в архітектурне середовище) дозволяють поєднувати функції безпеки та естетики.

8. Показано, що залучення державних і приватних ресурсів, а також міжнародної допомоги, забезпечує реальні можливості для швидкої реалізації комплексної системи захисту населення України.

Перспективи подальших досліджень.

Післявоєнне відновлення України передбачає масштабне будівництво укриттів цивільного призначення, що є важливою складовою стратегії безпеки та відновлення інфраструктури. Ці заходи реалізуються через державні програми, міжнародну допомогу та співпрацю з іноземними партнерами.

У березні 2025 року Кабінет Міністрів України затвердив стратегію розвитку фонду захисних споруд цивільного захисту до 2034 року. Загальний бюджет програми становить 789,3 млрд грн, з яких 642,5 млрд грн планується залучити від міжнародних

партнерів. За планом, до 2034 року буде побудовано понад 13 000 нових укриттів, включаючи бомбосховища та двофункціональні об'єкти. Перший етап (2025–2027) передбачає будівництво 2300 об'єктів [6].

Таким чином, подальші дослідження мають бути спрямовані на створення комплексної науково-технічної бази, яка забезпечить ефективну реалізацію стратегії розвитку фонду захисних споруд цивільного захисту України до 2034 року, а також підвищить стійкість інфраструктури й безпеку населення в умовах воєнних і післявоєнних загроз.

Найбільш актуальними завданнями для подальших досліджень є:

- розробка методології інтеграції нових і реконструйованих укриттів у загальну систему містобудівного планування з урахуванням стратегії безпеки та розвитку інфраструктури;

- експериментальні та числові дослідження поведінки укриттів під дією ударної хвилі, уламкових навантажень та вторинних руйнувань;

- оптимізація конструктивних параметрів, матеріалів і технологій спорудження модульних, габйонних та комбінованих конструкцій для забезпечення балансу між вартістю, швидкістю зведення та довговічністю;

- дослідження можливостей двофункціонального використання захисних споруд (укриття та/або соціальна чи інфраструктурна функція).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Жидкова Т. В., Глеба В. Ю., Гнатюк Л. Р., Жлобницький А. В., Приймаченко О. В. Пристосування підвальних приміщень будинків під укриття для цивільного населення. *Opir materialiv i teoriya sporud/ Strength of Materials and Theory of Structures*. 2023. С. 483–495. DOI: 10.32347/2410-2547.2023.110.483-495.

2. Жидкова Т. В., Глеба В. Ю., Чепурна С. М. Особливості функціонального зонування приміщень сховища групи житлових будинків. *Теорія та практика дизайну : зб. наук. праць. Архітектура та будівництво*. 2023. Вип. 27. С.42–48. URL: <https://doi.org/10.32782/2415-8151.2023.27.5>

3. Жидкова Т. В. Безпечні ділянки на поверсі житлових будинків. *Теорія та практика дизайну : зб. наук. праць. Архітектура та будівництво*. 2023. Вип. 29–30. С. 55–62. URL: <https://doi.org/10.32782/2415-8151.2023.29-30.6>

4. Жидкова Т. В. Габйони як елемент ландшафтного дизайну прибудинкових територій. *Теорія та практика дизайну : зб. наук. Праць. Архітектура та будівництво*. 2023. Вип. 28. С. 237–244.

5. Глеба Віктор. Цивільний захист населення в міжквартирних укриттях капітальних модульних будинків. *Тези доповідей всеукраїнського науково-практичного форуму «Переможемо – відбудуємо!»*. Дніпро, 29–30 червня, 2022. С. 37–39.

6. Про схвалення Стратегії розвитку фонду захисних споруд цивільного захисту на період до 2034 року та затвердження операційного плану заходів з її реалізації. Розпорядження Каб. Міністрів України від 4 березня 2025 р. №183-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/183-2025-p#Text> (дата звернення: 13.05.2025).

REFERENCES

1. Zhydkova T.V., Hleba V.Y., Gnatiuk L.R., Zhlobnitsky A.V. and Priymachenko O.V. *Prystosuvannya pidval'nykh prymishchen' budynkiv pid ukryttya dlya tsyvil'noho naseleння* [Adjustment of basement rooms of buildings for shelter for the civilian population]. *Opir materialiv i teoriya sporud* [Strength of Materials and Theory of Structures]. 2023, pp. 483–495. DOI: 10.32347/2410-2547.2023.110.483-495. (in Ukrainian).
2. Zhydkova T., Hleba V. and Chepurna S. *Osoblyvosti funktsional'noho zonuvannya prymishchen' skhovyshcha hrupy zhytlovykh budynkiv* [Features of functional zoning of premises for shelters in the group of residential buildings]. *Teoriya ta praktyka dyzaynu. Arkhitektura ta budivnytstvo* [Theory and Practice of Design. Architecture and Construction]. 2023, no. 1 (27), pp. 42–48. URL: <https://doi.org/10.32782/2415-8151.2023.27.5> (in Ukrainian).
3. Zhydkova T. *Bezpechni dilyanky na poversi zhytlovykh budynkiv* [Safe areas on the floor of residential buildings]. *Teoriya ta praktyka dyzaynu. Arkhitektura ta budivnytstvo* [Theory and Practice of Design. Architecture and Construction]. 2023, no. 3–4 (29–30), pp. 55–62. URL: <https://doi.org/10.32782/2415-8151.2023.29-30.6> (in Ukrainian).
4. Zhydkova T. *Habiony yak element landshafinoho dyzaynu prybudynkovykh terytoriy* [Gabions as an element of landscape design of home territories]. *Teoriya ta praktyka dyzaynu. Arkhitektura ta budivnytstvo* [Theory and Practice of Design. Architecture and Construction]. 2023, no. 2 (28), pp. 237–244. URL: <https://doi.org/10.32782/2415-8151.2023.28.26> (in Ukrainian).
5. Hliba Viktor. *Tsyvil'nyy zakhyst naseleння v mizhkvartyrnykh ukryttyakh kapital'nykh modul'nykh budynkiv* [Civil Protection of the Population in Inter-Apartment Shelters of Capital Modular Buildings]. *Tezy dopovidei vseukrainskoho naukovo-praktychnoho forumu “PEREMOZHEMO – VIDBUDUIEMO!”* [Abstracts of the reports of the All-Ukrainian Scientific and Practical Forum “We Will Win – We Will Rebuild!”]. Dnipro, June 29–30, 2022, pp. 37–39. (in Ukrainian).
6. *Pro skhvalennia Strategiyi rozvytku fondu zahysnykh sporud civilnogo zakhystu na period do 2034 roku ta zatverdzhennia operatsiynogo planu zakhodiv z yiyi realizatsiyi. Rozporyadjennia Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 4 bereznia 2025 r. №183* [On the Approval of the Strategy for the Development of the Civil Protection Shelter Fund for the Period Until 2034 and the Adoption of the Operational Action Plan for Its Implementation. Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated March 4, 2025, No. 183]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/183-2025-p#Text> (date of access: 13.05.2025). (in Ukrainian).

Надійшла до редакції: 03.12.2025.

УДК 69.059.7

DOI: 10.30838/UJCEA.2312.250226.86.1212

ФАКТОРНИЙ АНАЛІЗ ВАРТОСТІ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ РЕКОНСТРУКЦІЇ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ : УКРАЇНСЬКИЙ ТА ЄВРОПЕЙСЬКИЙ ДОСВІД

ОЛЬХОВИК С. М.^{1*}, асп.,

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 (097) 431-94-24, e-mail: serge.olkhoviyk@gmail.com, ORCID ID: 0009-0000-8578-1579

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: shoniya@ukr.net, ORCID ID: 0009-0001-8325-377X

Анотація. Постановка проблеми. Реконструкція житлових будівель набуває стратегічного значення як у повоєнній відбудові міст України, так і в реалізації європейських програм енергоефективної модернізації. Проте проекти реконструкції часто стикаються з непередбачуваним зростанням вартості та варіативністю результатів. Постає питання: які фактори найбільше впливають на кошторис та ефективність таких проектів в різних умовах і як врахувати цей вплив при плануванні. **Мета дослідження.** У статті узагальнено ключові чинники, що визначають вартість і ефективність реконструкції житлового фонду, шляхом аналізу українського та міжнародного досвіду. Наведено порівняння спільних тенденцій і особливостей прояву факторів у повоєнному відновленні житла в Україні та у програмах глибокої реновації в Європі. **Висновок.** Встановлено, що технічний стан будівель, складність проектних рішень, коливання цін на ресурси, організаційно-економічні та регуляторні умови, а також непередбачувані ризики (*force majeure*) є визначальними для вартості реконструкції. Ефективність проектів залежить не лише від фінансових показників, а й від соціально-екологічних ефектів, які все частіше враховуються у європейській практиці. Порівняння українського та європейського досвіду показало спільність багатьох проблем (перевищення кошторисів, потреба в інвестиціях, ризики затримок) при різному контексті їх прояву. Розуміння та факторний аналіз цих чинників є необхідною передумовою для успішного планування реконструкції. Отримані висновки можуть стати підґрунтям для розвитку моделей прийняття рішень адаптованих до умов повоєнної відбудови в Україні.

Ключові слова: реконструкція житлових будівель; вартість реконструкції; економічна ефективність; енергоефективність; факторний аналіз; експертне оцінювання; нечітка логіка; машинне навчання; повоєнна відбудова

FACTOR ANALYSIS OF THE COST AND EFFECTIVENESS OF RESIDENTIAL BUILDING RECONSTRUCTION: UKRAINIAN AND EUROPEAN EXPERIENCE

OLKHOVYK S.M.^{1*}, Postgrad. Stud.,

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 (097) 431-94-24, e-mail: serge.olkhoviyk@gmail.com, ORCID ID: 0009-0000-8578-1579

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: shoniya@ukr.net, ORCID ID: 0009-0001-8325-377X

Abstract. Problem statement. Residential building reconstruction has become strategically important both for the post-war recovery of Ukrainian cities and for implementing European energy-efficiency programmes. However, reconstruction projects often face unpredictable cost escalation and outcome variability. This raises the question of which factors most strongly influence cost estimates and overall effectiveness under different conditions, and how to account for these influences during planning. **Purpose of the study.** This paper synthesises the key factors that determine the cost and effectiveness of residential stock reconstruction, drawing on Ukrainian and international experience. It compares common trends and context-specific features shaping factor impacts in Ukraine's post-war housing recovery and in Europe's deep-renovation programmes. **Conclusions.** The technical condition of buildings, project-solution complexity,

resource-price volatility, organizational and economic as well as regulatory conditions, and unforeseen risks (force majeure) are decisive for reconstruction costs. Project effectiveness depends not only on financial indicators but also on social and environmental effects, which are increasingly considered in European practice. A comparison of Ukrainian and European experience reveals shared challenges (cost overruns, investment needs, schedule-delay risks) that manifest differently by context. Understanding and factor-based analysis of these determinants are a prerequisite for successful reconstruction planning. The findings can inform the development of decision-making models adapted to the conditions of post-war recovery in Ukraine.

Keywords: residential building reconstruction; reconstruction costs; economic efficiency; energy efficiency; factor analysis; expert assessment; fuzzy logic; machine learning; post-war reconstruction

Постановка проблеми. Реконструкція житлових будівель набуває критичного значення як в Україні, так і в європейських країнах. В Україні це обумовлено значним зносом житлового фонду та масовими пошкодженнями будівель внаслідок воєнних дій. Реконструкція дозволяє оновити житло без колосальних витрат, яких вимагає нове будівництво. У Європі ж модернізація існуючих будівель є ключовим інструментом енергозбереження та досягнення кліматичних цілей, адже будівлі споживають до 40 % енергії [1]. Ефективність реконструкції при цьому слід оцінювати комплексно – з урахуванням не лише економічних, а й соціальних та екологічних критеріїв. Сучасні дослідження наголошують, що довгострокова успішність реконструкції залежить від збалансованого врахування широкого спектра факторів впливу. У цій оглядовій статті узагальнено фактори, які найбільше впливають на вартість та результативність проєктів реконструкції житла, порівнюється український досвід із європейським, а також розглядаються підходи до аналізу таких факторів.

Аналіз досліджень та публікацій. Питанням вартості та ефективності реконструкції житлового фонду присвячені праці багатьох науковців, що охоплюють економічні моделі, техніко-економічні показники, методи оптимізації проєктних рішень і підходи до енергоефективної модернізації. В українських роботах узагальнення критеріїв доцільності та економічної ефективності реконструкції подані, зокрема, у працях Пекарчук [2] та Слободенюка [3], де акцент зроблено на ролі технічного стану, просторових чинників і ринкової кон'юнктури. У європейських дослідженнях значна увага приділяється кількісним інструментам пріоритизації

заходів (наприклад, кривим граничних витрат на заощадження тепла) та політикам масштабування реновацій [1; 9]. Водночас міжнародні роботи фіксують сталі детермінанти перевищення кошторисів і способи їх прогнозування: управлінські та контрактні практики, коливання цін на ресурси, регуляторні вимоги й невизначеності, що дедалі частіше моделюються із залученням методів машинного навчання та інтерпретованості (SHAP) [5; 7]. Для України додаткове значення мають рекомендації щодо прозорості ціноутворення та гармонізації класифікацій/методів вимірювання робіт у проєктах відбудови [4], а також оцінки потреб відновлення, що відображають інфляцію та ринкові шоки [8]. Наявні дослідження підтверджують потребу у факторному підході, який поєднує економічні, технічні, організаційні та політичні чинники для підвищення прогнозної якості кошторисів і результативності реконструкцій.

Мета і завдання дослідження. У сучасній українській практиці оцінювання реконструкції житлових будівель переважає фокус на економічних показниках, тоді як у європейських підходах ширше інтегруються соціальні, екологічні та управлінсько-регуляторні аспекти. З огляду на повоєнний контекст України та необхідність масового відновлення житла, виникає потреба у цілісній рамці факторного аналізу, що поєднує технічні, економічні, організаційні та політичні чинники і дозволяє зіставити український та європейський досвід для підвищення прогнозної якості кошторисів і результативності проєктів.

Таким чином, метою дослідження є систематизація чинників, що впливають на вартість і ефективність реконструкції житлових будівель, інструментів кількісної

оцінки впливів (експертне оцінювання, статистичні методи, нечітка логіка, моделі машинного навчання) і умов їх застосування, та порівняння українських й європейських підходів до їх урахування в плануванні, оцінюванні та управлінні проектами.

Виклад матеріалу. Основні фактори, що впливають на вартість реконструкції. Вартість реконструкції формується під впливом багатьох чинників. Технічний стан будівлі є одним з базових: що гірший стан (фізичний знос, пошкодження), то складніші й дорожчі роботи потрібні. В Україні важливість цього фактору підкреслюється тим, що оцінка стану об'єкта (через технічне обстеження) прямо впливає на визначення вартості реконструкції [3]. До технічних чинників належать також складність конструкції та масштаб проекту – наприклад, кількість поверхів, архітектурні особливості, щільність забудови й обмежений доступ до майданчика можуть ускладнювати роботи та збільшувати кошторис [2]. Зарубіжні дослідження підтверджують, що проектна складність є одним із ключових драйверів витрат: чим складніший і деталізованіший об'єкт, тим більше ресурсів потрібно [6].

Не менш вагомим є фактор цін на матеріали та ресурси. Післяповоєнна відбудова України супроводжується значною інфляцією будівельних матеріалів і дефіцитом сировини. Оцінки потреб реконструкції враховують інфляційні процеси, ринкові умови та навіть «surge pricing» – штучне здорожчання в регіонах масового будівництва [8]. Так, спільна оцінка уряду України, Світового банку та ЄС зазначає, що прогнозовані потреби на відбудову на найближче десятиліття враховують інфляцію, кон'юнктуру ринку, сплеск цін у зонах великого будівництва, підвищення страхових премій тощо. У європейських країнах коливання цін на енергоресурси та матеріали також впливають на рентабельність реновацій, але масштаб цих коливань зазвичай менший, ніж у кризових умовах України. Водночас глобальні фактори – наприклад, ціни на нафту – теж позначаються на кошторисах проектів: за даними моделювання, ціна на нафту (яка визначає вартість палива, логістики, матеріалів) входить до

найсуттєвіших чинників, що підвищують вартість реконструкції [6].

Організаційно-економічні фактори відіграють значну роль у визначенні кінцевої вартості. Зокрема, на реконструкціях часто виникають ризики перевитрат через недоліки управління проектом, неправильний вибір підрядників або неякісне планування. Дослідження міжнародного досвіду показують, що фактори на кшталт невдалої стратегії закупівель і контракування, неналежної кваліфікації підрядників, а також слабого проектного менеджменту суттєво впливають на перевищення кошторисів при реконструкціях [7]. Наприклад, опитування в будівельній галузі Малайзії виявило, що саме стратегія закупівель, компетентність підрядника, управлінські практики, наявність фінансування, доступність матеріалів та непередбачувані обставини (force majeure) є статистично значущими предикторами вартості реконструкції і відхилень від планового бюджету. Багато з цих чинників притаманні і європейським, і українським проектам. В українських реаліях особливо актуальними є затримки фінансування та платежів, що можуть призводити до простоїв і подорожчання робіт. Моделювання з використанням машинного навчання підтверджує, що затримки з оплатами – один з топ-факторів, який підвищує кошторисну вартість реконструкцій [6].

Крім того, регуляторні вимоги і бюрократія впливають на вартість. В Україні система кошторисного ціноутворення потребує оновлення: експерти наголошують на необхідності впровадження міжнародних методів вимірювання робіт і класифікації витрат, перегляду застарілих нормативів та маржі, підвищення прозорості цін [4]. Наявність чітких норм та електронних систем обліку допоможе уникати корупційних накруток і тримати витрати під контролем. З іншого боку, надто суворі нові регуляції (наприклад, вимоги до енергоефективності будівель у ЄС) можуть збільшувати початкові інвестиційні витрати реконструкції. Таким чином, регуляторний фактор має двоякий вплив: вимагає додаткових витрат на виконання нормативів, але в перспективі підвищує ефективність та

якість проєктів. У згаданій моделі з використанням XGBoost одними з найвагоміших виявлено саме регуляторні вимоги та неадекватність проєктних рішень – ці чинники здатні суттєво збільшити кошторис, якщо вимоги змінюються або проєкт містить помилки [5].

Форс-мажорні ризики особливо актуальні для України у воєнний і повоєнний період. Нестабільна безпекова ситуація, ризики руйнувань під час будівництва, перебої з енергопостачанням тощо – все це додатково закладається в кошториси або стримує інвесторів. У ширшому контексті до непередбачуваних ризиків належать також несприятливі погодні умови, пандемії, коливання курсу валют. Досвід реконструкцій за кордоном показує, що форсе мажуре (непередбачувані обставини) значно впливають на вартість та строки таких проєктів [7]. Тому у договорах і бюджетах усе частіше передбачають резерви на покриття непередбачених витрат.

Фактори, що визначають ефективність та доцільність реконструкції. Ефективність реконструкції житлових будівель – поняття багатомірне. Воно охоплює фінансову рентабельність (окупність інвестицій, зростання вартості майна), тривалість реалізації проєкту, а також соціальні та екологічні результати (покращення умов проживання, енергоефективність, зниження впливу на довкілля та інші). На практиці саме комбінація ключових факторів визначає техніко-економічну доцільність реконструкції конкретного об'єкта.

В українських дослідженнях ефективність реконструкції традиційно оцінювали через економічні показники – наприклад, зменшення експлуатаційних витрат чи приріст вартості нерухомості після оновлення [2]. Однак сучасний підхід вимагає врахування соціальних (комфорт, впливу на довкілля та інші) та екологічних (енергоспоживання, емісія CO₂) аспектів. Ефективність реконструкції житла слід розглядати ширше суто фінансових критеріїв – включаючи якість життя мешканців і сталий розвиток міського середовища. Це узгоджується з європейською практикою, де успіх проєкту все частіше вимірюється не

лише показником NPV/IRR, а й досягненням енергозбереження, покращенням екологічних показників будівлі та її впливу на громаду.

Серед факторів, що зумовлюють рентабельність реконструкції, можна виділити:

- **Очікувана економія та доходи:** Якщо реконструкція передбачає термомодернізацію, то майбутня економія енерговитрат стає вагомим чинником окупності. У ЄС часто розраховують cost-optimality – співвідношення витрат на модернізацію до зекономлених коштів за рахунок енергоефективності [1]. Якщо заходи дозволяють скоротити споживання тепла на 40–60 % за відносно помірних витрат, проєкт вважається високоефективним. Навпаки, досягнення надто високих стандартів (більше 60% економії) різко збільшує витрати і може бути невиправданим. Отже, фактор енергетичної ефективності впливає на економічну доцільність: є оптимальний рівень утеплення/оновлення, за яким вигоди і витрати збалансовані.

- **Термін реалізації проєкту:** Час – гроші, особливо в будівництві. Тривалість реконструкції впливає на сукупні витрати і відтермінування вигод. Аналіз невизначеностей у реконструкційних проєктах показав, що десятки чинників можуть спричинити затримки у строках [6]. Серед найкритичніших – погодні умови, затримки поставок, зміни в проєктах, фінансування та інші невизначеності. Управління цими чинниками безпосередньо впливає на успішність (дотримання графіка та бюджету) і, як наслідок, на ефективність інвестицій. Якщо проєкт суттєво вибивається з графіка, його рентабельність падає.

- **Доступність фінансування та ставка капіталу:** В Україні післявоєнна відбудова значною мірою залежить від міжнародної допомоги і пільгових кредитів. Якщо кошти доступні під низький відсоток або у вигляді грантів, багато реконструкцій стають економічно доцільними, тоді як за ринкових дорогих кредитів той самий проєкт може бути нерентабельним. Європейський досвід демонструє, що програми держпідтримки (субсидії, «теплі кредити», податкові пільги)

є вирішальними факторами для стимулювання реновацій, особливо енергозберігаючих [9]. Обмежений доступ до фінансування та високі початкові інвестиції – одні з головних бар'єрів масштабної модернізації будівель у ЄС. Отже, фінансово-кредитні умови (ставки, дотації) теж визначають ефективність: вони впливають на термін окупності проекту.

● Інвестиційна привабливість об'єкта: Локація, ринкова кон'юнктура, потенціал подорожчання нерухомості після реконструкції – все це фактори, що мотивують чи стримують інвесторів. Українські автори відзначають, що реконструкція житла може бути дуже привабливою інвестицією завдяки відносно короткому періоду окупності та високій ліквідності оновленого житла за умови сприятливого ринку [3]. Особливо в містах з дефіцитом територій під нове будівництво реконструкція стає способом отримати прибуток, модернізуючи старі будівлі у привабливих районах [2]. Водночас у повоєнній Україні інвестиційну складову підривають високі ризики та загальна економічна невизначеність, що теж треба враховувати при плануванні проектів.

Нарешті, поведінкові та соціальні фактори також впливають на успіх реконструкції, хоча їх важче виміряти. У європейському досвіді реновацій виявлено, що рішення власників житла про участь у програмі модернізації залежить від рівня обізнаності, довіри до підрядників та складності прийняття рішення [9]. Якщо мешканці не розуміють вигоди або не довіряють будівельним компаніям, проект може не відбутися. Тому успішні програми реконструкції за кордоном супроводжуються інформаційними кампаніями, консультаційною підтримкою, щоб знизити бар'єри на рівні домогосподарств. В Україні до соціальних чинників можна віднести готовність мешканців тимчасово виїхати на час реконструкції, згоду співвласників багатоквартирного будинку, а також загальний психологічний ефект війни. Усі ці нематеріальні моменти впливають на практичну реалізацію проектів та їх ефективність у ширшому сенсі.

Підходи до аналізу факторів та

моделювання. Враховуючи різноманітність чинників, у наукових дослідженнях застосовуються різні методи ідентифікації та аналізу факторів впливу. Традиційно в Україні використовувалися експертні оцінки: група фахівців здійснює огляд об'єкта, враховує всі можливі фактори і на основі досвіду та інтуїтивно-логічного аналізу робить висновок про доцільність реконструкції. Існують підходи до формалізації такої оцінки – наприклад, методи ієрархічного аналізу, коли експерти оцінюють вплив кожного чинника у балах, після чого обчислюється зважений інтегральний показник. Такий підхід дозволяє структурувати різноманітні фактори (технічні, економічні, соціальні) і прийняти рішення на основі сукупної експертної думки. Зокрема, у підручниках з реконструкції рекомендується реєструвати значення всіх релевантних факторів і будувати ієрархічну систему показників для оцінки проекту [2]. Цей методологічний підхід набув подальшого розвитку у вигляді багатокритеріальних моделей оцінки ефективності (multi-criteria assessment), що використовуються і в європейській практиці.

Альтернативним напрямом є використання статистичних методів і моделей. Наприклад, дослідники застосували структурне моделювання (SEM) і факторний аналіз для виявлення ключових факторів невизначеності, що впливають на показники реконструкційних проектів [6]. Через анкетування 226 фахівців було визначено 45 потенційних факторів-невизначеностей, з яких 25 виявилися критичними для результатів проекту (вартість, тривалість, якість). Подальший експлораторний факторний аналіз згрупував ці 25 факторів у 8 категорій (груп) за спільною природою. Отримана модель чітко показує, на які групи ризиків слід звернути першочергову увагу при реконструкції. Інше дослідження тими ж авторами застосувало метод головних компонент та нечітку (fuzzy) оцінку для моделювання впливу невизначеностей на тривалість проектів. Такі кількісні підходи дозволяють на основі даних минулих проектів та опитувань квантифікувати вплив факторів, що особливо цінно для прогнозування ризиків перевищення строків

чи кошторису.

На передній план виходять також методи машинного навчання для оцінки вартості та ефективності реконструкцій. Свіже дослідження [5] запропонувало модель на основі градієнтного бустингу (XGBoost), яка прогнозує вартість проєкту реконструкції з урахуванням невизначеностей. Модель включала 45 потенційних факторів ризику та декілька параметрів самого проєкту; за допомогою методики SHAP було визначено, які фактори мають найбільший вплив на кошторис. Результат: п'ять факторів виявилися найвпливовішими для вартості реконструкції – це ціна на нафту, складність проєкту, затримки платежів, вимоги регуляторів і неякісний/недостатній дизайн проєкту. Включення цих чинників дозволило помітно підвищити точність моделі оцінки вартості. Важливо, що такі моделі не лише прогнозують цифри, а й дають аналітичне розуміння: вони висвітлюють, на що першочергово звернути увагу для оптимізації витрат (наприклад, стабілізувати фінансування чи спростити дизайн-процеси).

Таким чином, сучасний інструментарій аналізу факторів коливається від експертних якісних методів до кількісних моделей на основі даних. В європейській практиці популярними є оцінки життєвого циклу (LCCA) для порівняння сценаріїв реконструкції і «do-nothing», а також цифрові інструменти на основі BIM-технологій. Використання BIM (інформаційного моделювання будівель) підтримує управління витратами: можна моделювати різні варіанти реконструкції і одразу отримувати оцінку вартості та впливу змін, що підвищує прозорість і точність планування [4]. В Україні теж робляться кроки до впровадження BIM і єдиного електронного реєстру кошторисів, що має полегшити аналіз факторів і виявлення аномально високих цін.

Порівняння українського та європейського досвіду. Спільні риси. Більшість факторів, що впливають на успішність реконструкції, є універсальними для України і Європи. І технічний стан будівлі, і складність проєкту, і якість управління, і доступність фінансування – усюди ці чинники визначають, чи вкладеться

проєкт у бюджет і чи досягне поставлених цілей. Так само в обох контекстах зростають вимоги до комплексної оцінки ефективності: рахувати не лише гроші, але й соціальний та екологічний ефект. Поширеним підходом є використання багатокритеріальних систем показників, щоб охопити всі аспекти доцільності реконструкції [2]. Крім того, і Україна, і європейські країни зараз акцентують увагу на сталій реконструкції – врахуванні енергоефективності, скороченні викидів, адаптації до зміни клімату при відбудові житла [8]. В обох випадках кінцева мета – отримати сучасне, безпечне та ефективне житло замість застарілого фонду, витративши розумні кошти.

Відмінності. Водночас є і помітні відмінності, зумовлені контекстом. В Україні зараз унікально сильними є фактори, пов'язані з воєнними наслідками та трансформацією економіки. Наприклад, проблеми інфляції, дефіциту матеріалів та робочої сили, ризику нових руйнувань – ці чинники менш актуальні для мирних європейських країн. Також українська система ціноутворення історично відрізнялася від західної (кошторисні нормативи радянського типу). Звідси нагальна потреба імпортувати європейські стандарти вимірювання робіт (наприклад, системи Uniclass/Omniclass) та переглянути національні методики оцінки вартості [4]. Європейський досвід показує ефективність стандартизованих класифікаторів і прозорих кошторисних баз – Україна прагне перейняти ці практики для забезпечення прозорості і підзвітності у відбудові.

З іншого боку, у Європі значну роль відіграють поведінкові та політичні фактори, які в Україні мають свою специфіку. В ЄС, щоб стимулювати масову реновацію житла, доводиться долати інформаційні бар'єри та консерватизм власників: потрібні кампанії підвищення обізнаності, демонстраційні проєкти, довіра до нових інструментів (наприклад, «реноваційних паспортів») [9]. В Україні попит на реконструкцію часто диктується гострою необхідністю (зруйноване чи непридатне житло), тому мотивація населення є високою *per se*. Натомість ключовим стримуючим фактором стає брак ресурсів – без зовнішнього

фінансування мешканці просто не можуть відновити своє житло. В той час як у Європі бар'єром може бути небажання або сумнівні домогосподарств, в Україні – фінансові обмеження та процедурні труднощі (наприклад, оформлення документів на компенсацію, дозвільні процеси тощо).

Ще одна відмінність – пріоритети реконструкції. Для ЄС реконструкція житла вписується в довгострокову стратегію декарбонізації: основний фокус – енергоефективність, «зелені» технології, цифровізація будівельного сектору. Для України ж на першому місці стоїть швидке відновлення базової придатності житла та інфраструктури, аби розв'язати гуманітарні проблеми. Тому часовий фактор і масштаб стоять інакше: Україні потрібно відбудовувати цілі міста за стислий період, тоді як європейські країни планомірно підвищують характеристики свого житлового фонду до 2050 року. Цей контраст визначає і вагу факторів: в Україні *швидкість та масовість* робіт часто пріоритетні, інакше люди залишаються без житла; у Європі *якість і оптимальність* реконструкції ставиться вище за темпи (щоб кожна інвестиція давала максимум користі в довгостроковій перспективі).

Висновки

На основі огляду можна зробити кілька узагальнень. По-перше, фактори вартості реконструкції є багатоаспектними: це і фізичні характеристики будівлі (знос, масштаб, конструктивна складність), і економічне оточення (ціни на ресурси, інфляція, доступність коштів), і організаційні

моменти (управління, підрядники, ризики). Критичні чинники в українському та європейському контексті здебільшого збігаються, хоча їхній прояв різниться. По-друге, ефективність та доцільність реконструкції визначається не лише прямими фінансовими показниками, а і соціально-екологічними наслідками. Найкращі практики вимагають враховувати повний комплекс критеріїв, від окупності інвестицій до покращення комфорту мешканців і зниження впливу на клімат. По-третє, підходи до аналізу факторів еволюціонують: від суто експертних оцінок до складних моделей з використанням статистики і штучного інтелекту. Це відкриває можливості для більш точного прогнозування ризиків та ухвалення обґрунтованих рішень щодо реконструкції. Наприклад, сучасні моделі можуть виявити «вузькі місця» – чи то ризик затримки фінансування, чи критична залежність від цін на паливо – і дозволяють проактивно цими ризиками управляти [6].

Для України, що стоїть перед безпрецедентним завданням відбудови, корисним є досвід Європи щодо стандартизації, прозорості та стійкості реконструкції. Впровадження найкращих практик – від уніфікації кошторисів до залучення громади – допоможе забезпечити, щоб обмежені ресурси були використані ефективно та з максимальною віддачею. З іншого боку, український досвід швидкого відновлення в умовах кризи може дати уроки Європі про мобілізацію сектору будівництва, інновації у прискоренні робіт та управління проектами в умовах невизначеності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Hummel M., Büchele R., Müller A., Aichinger E., Steinbach J., Kranzl L., Toleikyte A., Forthuber S. The costs and potentials for heat savings in buildings : Refurbishment costs and heat saving cost curves for 6 countries in Europe. *Energy and Buildings*. 2021. Vol. 231. Pp. 110454. URL: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110454>
2. Пекарчук О. П. Реконструкція багатоквартирного житла з позиції економічної ефективності проектних вирішень. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія : Архітектура*. 2013. № 757. С. 117–123. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VNULPARX_2013_757_20
3. Слободенюк О. Інвестиційна привабливість проектів реконструкції житлового фонду. *Економічний дискурс*. 2024. Вип. 3–4. С. 96–103. URL: <https://doi.org/10.36742/2410-0919-2024-2-9>
4. Іванова В. Ціноутворення при відбудові України : план підзвітності та прогресу. GMF. Серія про управління планом Маршалла для України. Жовтень 2024р. URL: <https://www.gmfus.org/sites/default/files/2024-11/Pricing%20Ukrainian%20Reconstruction%20UKR.pdf>
5. Muhammad Aliyu Yamusa, Haruna Sa'idu Lawal, Rilwan Shuaib Abdulrahman, Abdullahi Sulaiman Salisu, Abdullahi Saka, Muawiya Abubakar, Muhammad Abdullahi. A machine-learning model for estimating construction

renovation costs. *International Journal of Building Pathology and Adaptation*. 2025. URL: <https://doi.org/10.1108/IJBPA-10-2024-0213>

6. Abdulmalik Abba Dandago, Muhammad Aliyu Yamusa, Haruna Sa'idu Lawal, Mu'awiya Abubakar, Muhammad Abdullahi, Bello Mahmud Zailani. Impact of uncertainty factors on the performance of building renovation projects. *Journal of Engineering, Design and Technology*. 2025. URL: <https://doi.org/10.1108/JEDT-03-2024-0182>

7. Azlan Shah Ali, Nur Farhana Azmi, Timothy Kurannen Baaki. Cost performance of building refurbishment works: the case of Malaysia. *International Journal of Building Pathology and Adaptation*. 9 April 2018. № 36 (1). Pp. 41–62. URL: <https://doi.org/10.1108/IJBPA-02-2017-0010>

8. «Updated Ukraine Recovery and Reconstruction Needs Assessment» (Світовий Банк, Єврокомісія, ООН, 2023). URL: <https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2023/03/23/updated-ukraine-recovery-and-reconstruction-needs-assessment>

9. Barbosa G., Almeida M. Strategies for Implementing and Scaling Renovation Passports : A Systematic Review of EU Energy Renovation Policies. *Sustainability*. 2025. № 17. Pp. 2289. URL: <https://doi.org/10.3390/su17052289>

REFERENCES

1. Hummel M., Büchele R., Müller A., Aichinger E., Steinbach J., Kranzl L., Toleikyte A. and Forthuber S. The costs and potentials for heat savings in buildings : Refurbishment costs and heat saving cost curves for 6 countries in Europe. *Energy and Buildings*. 2021, vol. 231, pp. 110454. URL: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110454>

2. Pekarchuk O.P. *Rekonstruktsiya bahatokvartyrnoho zhitla z pozytsiyi ekonomichnoyi efektyvnosti proektnykh vyrishen* [Reconstruction of Multi-Apartment Housing from the Perspective of the Economic Efficiency of Design Solutions]. *Visnyk Natsional'noho universytetu "L'vivska polytekhnika". Seriya: Arkhitektura* [Bulletin of the National University "Lviv Polytechnic". Series : Architecture]. 2013, no. 757, pp. 117–123. (in Ukrainian).

3. Slobodeniuk O.V. *Investytsiina pryvablyvist proektiv rekonstruktsii zhytlovoho fondu* [Investment Attractiveness of Housing Stock Reconstruction Projects]. *Ekonomichnyi dyskurs* [The Economic Discourse]. 2024, no. 3–4, pp. 96–103. (in Ukrainian).

4. Ivanova V. *Tsinoutvorennya pry vidbudovi Ukrayiny : plan pidzvitnosti ta prohresu* [Pricing Ukrainian Reconstruction : An Accountability and Progress Plan]. German Marshall Fund (GMF), Marshall Plan for Ukraine series, October 2024. URL: <https://www.gmfus.org/marshall-plan-ukraine> (in Ukrainian).

5. Muhammad Aliyu Yamusa, Haruna Sa'idu Lawal, Rilwan Shuaib Abdulrahman, Abdullahi Sulaiman Salisu, Abdullahi Saka, Muawiya Abubakar and Muhammad Abdullahi. A machine-learning model for estimating construction renovation costs. *International Journal of Building Pathology and Adaptation*. 2025. URL: <https://doi.org/10.1108/IJBPA-10-2024-0213>

6. Abdulmalik Abba Dandago, Muhammad Aliyu Yamusa, Haruna Sa'idu Lawal, Mu'awiya Abubakar, Muhammad Abdullahi and Bello Mahmud Zailani. Impact of uncertainty factors on the performance of building renovation projects. *Journal of Engineering, Design and Technology*. 2025. URL: <https://doi.org/10.1108/JEDT-03-2024-0182>

7. Azlan Shah Ali, Nur Farhana Azmi and Timothy Kurannen Baaki. Cost performance of building refurbishment works : the case of Malaysia. *International Journal of Building Pathology and Adaptation*. 9 April 2018, no. 36 (1), pp. 41–62. URL: <https://doi.org/10.1108/IJBPA-02-2017-0010>

8. World Bank; European Commission; United Nations. Updated Ukraine Recovery and Reconstruction Needs Assessment. Press release, March 23, 2023. URL: <https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2023/03/23/updated-ukraine-recovery-and-reconstruction-needs-assessment>

9. Barbosa G. and Almeida M. Strategies for Implementing and Scaling Renovation Passports : A Systematic Review of EU Energy Renovation Policies. *Sustainability*. 2025, no. 17, pp. 2289. URL: <https://doi.org/10.3390/su17052289>

Надійшла до редакції: 21.11.2025.

УДК 330.33:502.131.1

DOI: 10.30838/UJCEA.2312.250226.94.1213

БУДІВНИЦТВО МАЙБУТНЬОГО : ЦИРКУЛЯРНА ЕКОНОМІКА ЯК ОСНОВА СТАЛОГО РОЗВИТКУ

РАЗУМОВА О. В., канд. техн. наук., доц.

Кафедра архітектури, 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) 756-33-66, e-mail: o.v.raz888@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-8342-2636

Анотація. Актуальність роботи. У XXI столітті людство зіштовхнулося з глобальними викликами, серед яких особливо гостро постали питання екологічної деградації, вичерпання природних ресурсів та зміни клімату. На цьому тлі традиційна лінійна економічна модель, яка передбачає надмірне використання ресурсів та утворення великої кількості відходів, вичерпала свій потенціал. Особливо критично це проявляється в будівельній галузі – одному з найресурсоемішних секторів світової економіки. У відповідь на виклики сучасності все більше уваги приділяється концепції циркулярної економіки, яка дозволяє створювати замкнуті виробничі цикли, знижуючи навантаження на довкілля. У контексті відновлення інфраструктури України після війни, актуальність переходу до циркулярної моделі будівництва зростає в геометричній прогресії. **Мета статті** – всебічно проаналізувати можливості та обмеження впровадження циркулярної економіки в будівельній галузі як інструменту реалізації принципів сталого розвитку. Дослідження спрямоване на вивчення теоретичних засад, практичного досвіду, міжнародних кейсів, інноваційних матеріалів і технологій, здатних трансформувати підходи до проєктування, будівництва та експлуатації об'єктів. **Методика.** У статті застосовано міждисциплінарний підхід, що об'єднує концепції екологічної економіки, урбаністики, архітектури та системного аналізу. Проведено порівняльний аналіз лінійної та циркулярної моделей економіки, вивчено приклади успішного впровадження циркулярних практик у будівництві різних країн, зокрема Німеччини, Великої Британії, Скандинавських країн та Японії. Залучено статистичні дані щодо споживання матеріалів, енергетичних витрат та утворення відходів у будівельному секторі. Особлива увага приділена аналізу нормативно-правових, інституційних і поведінкових бар'єрів на шляху до циркулярності в Україні. **Результати.** Авторка доводить, що циркулярна економіка є не лише екологічно доцільною, а й економічно вигідною стратегією для будівництва. Використання вторинних матеріалів, органічних утеплювачів, енергоефективних технологій та локальної сировини дозволяє зменшити вуглецевий слід, знизити витрати на утилізацію відходів, підвищити якість житлового середовища. Визначено ключові бар'єри на шляху впровадження циркулярного підходу в Україні – від нестачі нормативної бази до низького рівня екологічної культури. Водночас підкреслено потенціал країни у впровадженні відповідних рішень, особливо в умовах післявоєнного відновлення. Стаття закликає до перегляду парадигми будівництва як технічного процесу та її трансформації у світоглядну модель, що базується на довготривалій відповідальності перед суспільством, природою та майбутніми поколіннями.

Ключові слова: сталий розвиток; циркулярна економіка; будівництво; енергоефективність; екологічні матеріали; повторне використання ресурсів

BUILDING THE FUTURE : THE CIRCULAR ECONOMY AS A FOUNDATION FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT

RAZUMOVA O.V., Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.

Department of Architecture, 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 (056) 756-33-66, e-mail: o.v.raz888@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-8342-2636

Abstract. The relevance of the work. In the 21st century, humanity has faced global challenges, among which the issues of environmental degradation, depletion of natural resources and climate change have become particularly acute. Against this background, the traditional linear economic model, which involves excessive use of resources and the generation of a large amount of waste, has exhausted its potential. This is especially critical in the construction industry – one of the most resource-intensive sectors of the world economy. In response to the challenges of modernity, more and more attention is paid to the concept of a circular economy, which allows creating closed production cycles, reducing the burden on the environment. In the context of restoring Ukraine's infrastructure after the war, the relevance of the transition

to a circular construction model is growing exponentially. **Purpose.** The purpose of the article is to comprehensively analyze the possibilities and limitations of implementing a circular economy in the construction industry as a tool for implementing the principles of sustainable development. The research is aimed at studying theoretical foundations, practical experience, international cases, innovative materials and technologies that can transform approaches to the design, construction and operation of facilities. **Methodology.** The article uses an interdisciplinary approach that combines the concepts of ecological economics, urbanism, architecture, and systems analysis. A comparative analysis of linear and circular economic models is conducted, and examples of successful implementation of circular practices in construction in different countries, including Germany, Great Britain, the Scandinavian countries, and Japan, are studied. Statistical data on material consumption, energy costs, and waste generation in the construction sector are used. Special attention is paid to the analysis of regulatory, institutional, and behavioral barriers to circularity in Ukraine. **The results.** The author proves that the circular economy is not only an environmentally sound, but also an economically profitable strategy for construction. The use of secondary materials, organic insulation, energy-efficient technologies, and local raw materials allows for a reduction in carbon footprint, reduced waste disposal costs, and improved quality of the living environment. Key barriers to the implementation of a circular approach in Ukraine are identified – from the lack of a regulatory framework to the low level of environmental culture. At the same time, the country's potential in implementing relevant solutions is highlighted, especially in the context of post-war reconstruction. The article calls for a revision of the paradigm of construction as a technical process and its transformation into a worldview model based on long-term responsibility to society, nature and future generations.

Keywords: *sustainable development; circular economy; construction; energy efficiency; ecological materials; resource reuse*

Людство, наука, політика та громадськість активно обговорюють, яку саме модель розвитку ми будемо. Сьогодні з'явилося багато нових термінів, що описують майбутнє: постіндустріальна економіка, суспільство знань, соціально орієнтоване суспільство, тощо. Проте за останні 10–11 років людство нарешті дійшло спільного розуміння: ми будемо сталий розвиток – головну парадигму розвитку цивілізації XXI століття.

Напрямок сталого розвитку зафіксовано в трьох ключових документах ООН. Перший – прийнятий у 2012 році в Ріо-де-Жанейро документ «Майбутнє, на яке ми очікуємо» (The Future We Want), де вперше чітко заявлено: розвиток людства повинен ґрунтуватися на принципах сталості

Другий важливий документ – «Порядок денний на період до 2030 року» (2015), у якому затверджено 17 цілей сталого розвитку, понад 160 завдань і більш ніж 230 індикаторів. Саме тут людство деталізувало, що таке сталий розвиток і як його втілювати на національному рівні.

Третій – Паризька кліматична угода, яка закріпила орієнтир на низьковуглецеву модель розвитку [10].

Сталий розвиток – це такий розвиток, який задовольняє потреби нинішнього покоління, не ставлячи під загрозу здатність майбутніх поколінь задовольняти свої. Його

головні орієнтири були визначені під час ключових самітів ООН, де було затверджено 17 цілей сталого розвитку (рис. 1). Особливу увагу в цьому контексті привертає ціль 12, яка присвячена забезпеченню відповідального споживання та виробництва. Саме вона зосереджена на таких важливих завданнях, як зниження ресурсоемності економіки, скорочення втрат продовольства у виробничо-збутових ланцюжках, стале використання хімічних речовин на основі інноваційних технологій і матеріалів, а також зменшення обсягів утворення відходів із паралельним збільшенням їх переробки й повторного використання.

Усе це є основою переходу до ефективніших і безпечніших моделей розвитку, де ресурси використовуються розумно, а шкода для довкілля зводиться до мінімуму [11].

Разом з новими викликами з'явилися й нові економічні поняття. Наприклад, низьковуглецева економіка – це система з низьким рівнем викидів, що прагне зменшити залежність від викопного палива (нафта, газ, вугілля) й перейти до чистих джерел енергії. Активно поширюється процес девестицій – виведення інвестицій із традиційних галузей (вуглеводнева енергетика) у «зелені» галузі. Яскравий приклад – пенсійний фонд Норвегії, один з найбільших у світі, який поступово

переводить кошти у відновлювану енергетику.

Ще один важливий термін – decoupling (роз'єднання): це прагнення досягати економічного зростання без зростання негативного впливу на природу. Усі ці ідеї

об'єднуються в концепції зеленої економіки, яку підтримує ООН. Це модель, що зберігає природний капітал, знижує парникові викиди, раціонально використовує ресурси, забезпечуючи при цьому економічне зростання і нові робочі місця [2].



Рис. 1. Цілі сталого розвитку

Проте є три глибокі теоретичні проблеми, на які наука досі не має чітких відповідей. Це так звані market fail (провали ринку):

Однак на шляху до сталого розвитку світова економічна наука стикається з кількома серйозними викликами. Це глибокі проблеми, які важко вирішити традиційними підходами.

Перша проблема – ми звикли сприймати природу як щось безкоштовне. Ліси, чисте повітря, вода, родючі ґрунти – усе це використовується в промисловості й житті, але рідко оцінюється у грошовому вимірі. Через це природа виснажується, бо в економічних розрахунках її цінність майже нульова.

Друга проблема – вплив на довкілля часто залишається «чужою проблемою». Якщо підприємство забруднює річку, страждає не власник заводу, а громада, яка втрачає доступ до чистої води. Витрати – екологічні чи соціальні – перекладаються на інших, і це не враховується у вартості продукції.

Третя проблема – короткозорість. Ми звикли мислити категоріями «тут і зараз», тож майбутні вигоди здаються менш важливими. Інвестувати в зелені технології вигідно в довгостроковій перспективі, але бізнес часто орієнтований на швидкий прибуток, тому уникає рішень, що принесуть користь через 10–20 років [1].

Саме ці виклики стали підґрунтям для розробки ідеї сталого розвитку. Ще до 1990-х років людство усвідомлювало екологічну кризу (наприклад, хімізацію сільського господарства), але відповідей не було. У 1992 році відбулася історична конференція ООН у Ріо-де-Жанейро з документом «Порядок денний на ХХІ століття». У 2012 році людство зробило наступний крок – узгодило перехід до зеленої економіки як до практичного механізму реалізації сталого розвитку.

Сталий розвиток – це збалансоване поєднання трьох кругів: економіки, суспільства та природи (рис. 2). Не можна досягти сталості, розвиваючи лише одну з них. Це можна уявити як три кола, що перетинаються: там, де перетин – і є сталий розвиток.

Наразі у світі ці кола дуже нерівні: величезне – економіка, середнє – суспільство, і майже непомітне – природа. Завдання сталого розвитку – зробити ці кола рівними й максимально розширити їхнє перетинання. Лише так можна досягти гармонії між добробутом людей, стабільністю економіки та збереженням довкілля для майбутніх поколінь.



Рис. 2. Складові сталого розвитку

Метою цієї роботи є всебічне осмислення циркулярної економіки як ключового елемента сталого розвитку в будівельній галузі. Під час аналізу основна увага приділяється не лише теоретичним засадам, а й практичним можливостям реалізації цієї моделі у сучасних умовах, її перевагам, обмеженням та перспективам для України. Окремий акцент зроблено на оцінці того, як циркулярні підходи можуть зменшити негативний вплив будівництва на довкілля, підвищити ефективність використання ресурсів і водночас створити нові можливості для інноваційного розвитку.

Сучасна світова економіка зазнає глибоких структурних змін, викликаних не лише економічними і соціальними чинниками, а насамперед наростаючими екологічними загрозами. На тлі глобального потепління, виснаження природних ресурсів, зростання кількості промислових відходів і деградації навколишнього середовища стає очевидним, що звична лінійна модель розвитку, яка базується на принципі “взяти, використати, викинути”, більше не здатна забезпечити стабільність і добробут людства в довгостроковій перспективі. Екологічна ситуація вимагає докорінного переосмислення підходів до організації економічної діяльності в усіх галузях, зокрема у сфері будівництва, яка є одним із найпотужніших споживачів ресурсів і генераторів шкідливих викидів [4].

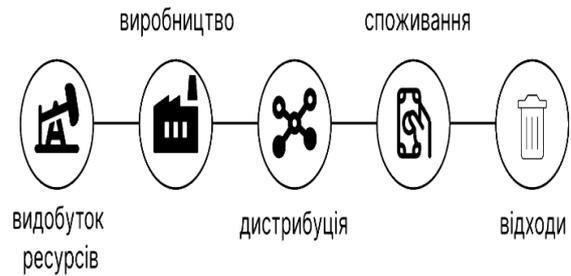


Рис. 3. Модель лінійної економіки

Упродовж тривалого часу економічна модель, якою користувалось людство, залишалася лінійною (рис. 3). Вона передбачала послідовність дій: взяти ресурси, використати їх і викинути залишки. Такий підхід здавна вважався зручним і ефективним, але з часом він призвів до масштабного накопичення відходів, виснаження природних багатств, погіршення стану довкілля та загострення кліматичних викликів [3].



Рис. 4. Модель циркулярної економіки

Відповіддю на виклики лінійної моделі стала циркулярна економіка (рис. 4). Її суть полягає у створенні замкнених циклів виробництва і споживання, за яких ресурси використовуються максимально довго, продукти проєктуються так, щоб бути переробленими, а відходи розглядаються як цінний вторинний ресурс. Ця модель відображає циклічний характер природних процесів, у яких немає відходів, а кожен елемент виконує нову функцію.

Основне завдання циркулярної економіки полягає в зменшенні споживання первинних ресурсів і мінімізації відходів [8].

Будівельна галузь, попри свій визначальний внесок у соціально-

економічний розвиток, значною мірою відповідальна за антропогенний тиск на довкілля. Згідно з даними Європейського Союзу, будівництво споживає від 30 до 50 відсотків усіх матеріалів, до 20 відсотків металів і близько 65 відсотків усіх заповнювачів. При цьому близько 40 відсотків глобального енергоспоживання припадає саме на будівлі, охоплюючи всі етапи їх життєвого циклу – від видобутку сировини до спорудження, експлуатації та демонтажу. Також будівництво генерує величезні обсяги твердих побутових і промислових відходів, більшість з яких не переробляється і повторно не використовується, а потрапляє на сміттєзвалища, забруднюючи землю, воду і повітря [6].

Особливу тривогу викликає той факт, що навіть сучасні будівельні матеріали, які часто позиціонуються як технічно вдосконалені, здебільшого не враховують екологічного чинника у своїй структурі та післяексплуатаційному циклі. Це створює серйозні виклики для утилізації та повторного використання будівельних конструкцій. Унаслідок цього відходи будівництва й демонтажу зростають у геометричній прогресії, тоді як можливості планети до регенерації залишаються обмеженими. Така ситуація вимагає переходу до принципово нової моделі розвитку, що забезпечує довготривалу екологічну стабільність, економічну ефективність та соціальну справедливість.

У країнах Європейського Союзу та інших економічно розвинених державах концепція циркулярної економіки вже стала невід'ємною частиною державної політики. Зокрема, у Німеччині активно впроваджується модель пасивного будівництва, що знижує споживання енергії на опалення до мінімуму, а в Британії поширена система екологічної сертифікації BREEAM, яка передбачає оцінку енергоефективності, впливу на довкілля, використаних матеріалів і добробуту мешканців. У скандинавських країнах широко застосовується деревина як відновлюваний ресурс, а в Японії сталий

розвиток поєднується з високими технологіями, включаючи сонячні панелі, геотермальні системи та цифрове управління будівлями [5; 7].

Україна також має значний потенціал для впровадження циркулярних рішень у сфері будівництва. Використання місцевих матеріалів, таких як солома, глина, коноплі, очерет, має давні традиції і водночас відповідає сучасним вимогам до енергоефективності, доступності та екологічності. Перші дослідження та експерименти, зокрема в рамках проєктів українських вишів, показують, що ці матеріали можуть стати основою для розвитку національної стратегії сталого будівництва. Проте, попри наявні успіхи, широке впровадження циркулярної економіки в будівельній галузі України наразі залишається обмеженим через низку серйозних бар'єрів. Серед них – нестача законодавчої підтримки, відсутність чітких стандартів і сертифікацій, слабка мотивація будівельних компаній до інновацій, обмежений доступ до інвестицій, а також низький рівень екологічної культури та проінформованості серед споживачів і фахівців [9].

Слід також зазначити, що в умовах зростаючої глобальної конкуренції країни, які першими перейдуть до циркулярних моделей у будівництві, отримають не лише екологічні, а й економічні переваги. Це стосується створення нових ринків для переробки, розвитку підприємництва в сфері екодизайну, підвищення вартості нерухомості з екологічною сертифікацією, а також посилення інвестиційної привабливості. Ключовими принципами такого підходу є *reduce*, *reuse* та *recycle* (рис. 5), що передбачають скорочення використання ресурсів, повторне застосування матеріалів і ефективну переробку. Для України, яка сьогодні перебуває у процесі відновлення й модернізації своєї інфраструктури, циркулярна економіка може стати основою для формування сучасної, екологічно відповідальної та конкурентоспроможної будівельної галузі.

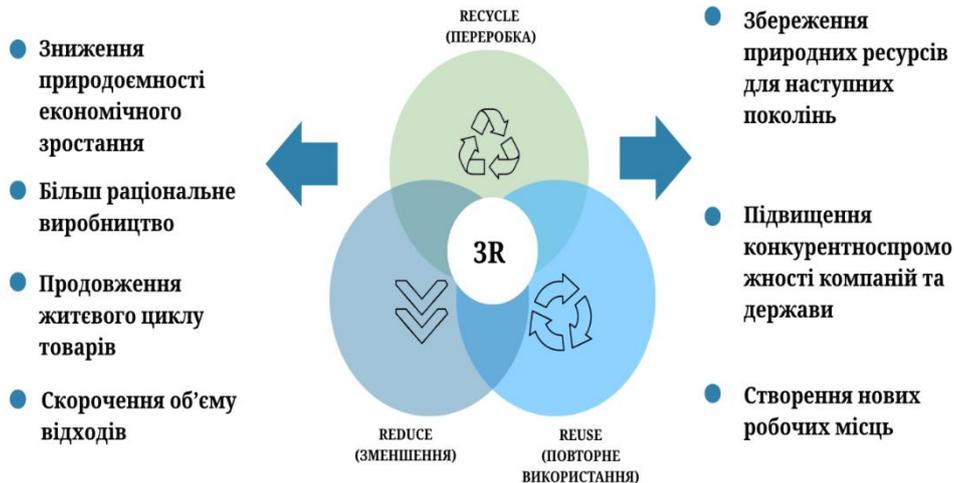


Рис. 5. Принципи циркулярної економіки

Проведене дослідження дає змогу зробити обґрунтовані висновки щодо потенціалу, переваг і перспектив впровадження циркулярної економіки в будівельній галузі, як ключового інструменту досягнення цілей сталого розвитку. Сучасний світ перебуває у стані глибокої екологічної кризи, що є прямим наслідком тривалого домінування лінійної економічної моделі, яка базується на ідеї необмеженого використання ресурсів і подальшого зростання. Особливо гостро ці проблеми проявляються в галузях, що споживають найбільші обсяги матеріалів та енергії, до яких належить будівництво. Саме ця сфера сьогодні формує значну частину глобального екологічного сліду, включаючи викиди парникових газів, утворення відходів, забруднення водних ресурсів і деградацію ґрунтів [8].

На тлі таких викликів концепція сталого розвитку стала відповіддю людства на потребу в новій моделі прогресу, яка базується на екологічному, економічному та соціальному балансі. Водночас стало зрозуміло, що без перегляду принципів функціонування будівельної галузі досягнення цілей сталого розвитку є малоімовірним. У цьому контексті циркулярна економіка розглядається як один із найефективніших підходів, що дозволяє здійснити цю трансформацію на системному рівні.

Сьогоднішній стан справ показує, що ці три сфери – економіка, соціум і природа – знаходяться в нерівноважному співвідношенні (рис. 6). Найбільше значення має економічний компонент, на другому плані перебуває суспільство, а природа найчастіше ігнорується. Це призводить до того, що зона перетину між трьома колами мінімальна, а отже, мета сталого розвитку не досягається. Щоб змінити ситуацію, необхідно вирівняти вплив усіх трьох компонентів, збільшити площу їх перетину та досягти гармонії (рис. 2).

Під час розроблення стратегії розвитку циркулярної економіки необхідно визначити сферу її охоплення (рівень компетенцій) та забезпечити узгодженість із цілями й завданнями стратегії сталого розвитку, сформувавши критерії госпідтримки з урахуванням вимог циркулярної економіки.

Циркулярна економіка у будівництві – це не просто технічна чи технологічна зміна, це зміна світогляду. Вона вимагає усвідомлення того, що ресурси планети є обмеженими, а кожне інженерне рішення має довгострокові наслідки. Вона вимагає від фахівців мислити категоріями життєвого циклу, зважати на екологічну вартість рішень, розглядати будівлі як частину екосистеми, а не лише як економічний об'єкт. Такий підхід формує нову етику будівництва, в основі якої – відповідальність перед суспільством, природою та майбутніми поколіннями.



Рис. 6. Цілі сталого розвитку та протиріччя сучасності

модель шерінга



Рис. 7. Модель шерінга

У циркулярній економіці все залежить від злагодженої співпраці, але саме вона – 17-та ціль (співпраця заради досягнення цілей) сталого розвитку виявилася найслабшою ланкою. Люди не змогли домовитися, і через відсутність єдності система почала руйнуватися. І виявилось, що «вишенька на торті» стала найголовнішою серед усіх цілей (рис. 6).

Що кожний з нас сьогодні може зробити щоб мінімізувати відходи та надмірне споживання матеріалів, зменшити негативний вплив на довкілля. Одним із доступних способів участі в циркулярній

економіці є шерінг – спільне користування речами замість їх купівлі. Коли ми ділимося одягом, технікою, книгами чи транспортом, ми зменшуємо потребу у новому виробництві та скорочуємо кількість відходів. Це проста дія, яка починається з нас і працює лише там, де є довіра й відповідальність (рис. 7).

Але ми впевнені, що після закінчення війни, коли почнеться відбудова країни – зміняться часи, і зміняться цінності, і у людей, і у чиновників. І тоді концепція сталості запрацює.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Dilawar Husain, Prakash Ravi. Ecological footprint reduction of built envelope in India. *Journal of Building Engineering*. 2019. № 21. Pp. 278–286. DOI: 10.1016/j.jobee.2018.10.018.
2. Sizirici Banu, Yohanna Fseha, Chung-Suk Cho, Ibrahim Yildiz, Young-Ji Byon. A review of carbon footprint reduction in construction industry, from design to operation. *Materials*. 2021. № 14 (20). Pp. 60–94. DOI: 10.3390/ma14206094.

3. Korhonen Jouni, Cali Nuur, Andreas Feldmann, Seyoum Eshetu Birkie. Circular economy as an essentially contested concept. *Journal of cleaner production*. 2018. № 175. Pp. 544–552. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.12.111.
4. Suarez-Eiroa Brais, et al. Operational principles of circular economy for sustainable development : Linking theory and practice. *Journal of cleaner production*. 2019. № 214. Pp. 952–961. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.12.271.
5. Кудрявцев В. М., Кудрявцев О. В. Взаємозв'язок концепцій сталого розвитку та циркулярної економіки. Applied and fundamental scientific research. *Abstracts of XIX International Scientific and Practical Conference*. Brussels, Belgium, 2021. Pp. 67–70. URL: <https://doi.org/10.46299/ISG.2021.I.XIX>
6. Микитась М. В., Плоский В. О. Сталый розвиток міст : стан досліджень, міжнародний та український досвід. *Енергоефективність в будівництві та архітектурі*. 2017. Вип. № 9. С. 168–173.
7. Пігуль О., Сьомушкін В. Інтеграція понять сталого розвитку й управління проектами в сучасні моделі житлового будівництва. *Економіка та суспільство*. 2023. Вип. 53. URL: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-53-64>
8. Akinwale Y. Circular economy awareness, adoption, and its effects on business performance in Saudi Arabia. *Problems and Perspectives in Management*. 2024. № 22 (3). Pp. 119–133. URL: [https://doi.org/10.21511/ppm.22\(3\).2024.10](https://doi.org/10.21511/ppm.22(3).2024.10)
9. Ginga C. P., Ongpeng J. M. C., Daly M. K. M. Circular economy on construction and demolition waste : a literature review on material recovery and production. *Materials*. 2020. № 13 (13). P. 2970. URL: <https://doi.org/10.3390/ma13132970>
10. Разумова О. В., Большаков В. І., Савицький Н. В., Бондаренко О. І., Котов М. А., Шаріна Т. О. Сучасні напрямлення сталого містобудування : колективна монографія; під загальною редакцією д-ра техн. наук. Н. Савицького. Дніпро : ФОП Власов В. А., 2020. С. 259.
11. Разумова О. В. Концепція сталого розвитку сучасного міста при реконструкції будинків перших масових серій. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2017. № 2. С. 101–107.

REFERENCES

1. Dilawar Husain and Prakash Ravi Ecological footprint reduction of built envelope in India. *Journal of Building Engineering*. 2019, no. 21, pp. 278–286. DOI: 10.1016/j.jobee.2018.10.018.
2. Sizirici Banu et al. A review of carbon footprint reduction in construction industry, from design to operation. *Materials*. 2021, no. 14 (20), pp. 60–94. DOI: 10.3390/ma14206094.
3. Korhonen Jouni et al. Circular economy as an essentially contested concept. *Journal of Cleaner Production*. 2018, no. 175, pp. 544–552. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.12.111.
4. Suarez-Eiroa Brais et al. Operational principles of circular economy for sustainable development : Linking theory and practice. *Journal of Cleaner Production*. 2019, no. 214, pp. 952–961.
5. Kudriavtsev V.M. and Kudriavtsev O.V. *Vzaimozv'язok kontseptsii staloho rozvytku ta tsyrkuliarnoi ekonomiky* [The relationship between the concepts of sustainable development and circular economy]. Applied and Fundamental Scientific Research : abstracts of XIX International scientific and practical conference. 2021, pp. 67–70. DOI: 10.46299/ISG.2021.I.XIX. (in Ukrainian).
6. Mykytas M.V. and Ploskyi V.O. *Stalyi rozvytok mist: stan doslidzhen, mizhnarodnyi ta ukrainskyi dosvid* [Sustainable urban development : state of research, international and Ukrainian experience]. *Enerhoefektyvnist v budivnytstvi ta arkhitekturi* [Energy Efficiency in Construction and Architecture]. 2017, iss. 9, pp. 168–173. (in Ukrainian).
7. Pihul O. and Siomushkin V. *Intehratsiia poniat staloho rozvytku y upravlinnia proiektamy v suchasni modeli zhytlovoho budivnytstva* [Integration of the concepts of sustainable development and project management in modern residential construction models]. *Ekonomika ta suspilstvo* [Economics and Society]. 2023, iss. 53. DOI: 10.32782/2524-0072/2023-53-64. (in Ukrainian).
8. Akinwale Y. Circular economy awareness, adoption, and its effects on business performance in Saudi Arabia. *Problems and Perspectives in Management*. 2024, no. 22 (3), pp. 119–133. DOI: 10.21511/ppm.22(3).2024.10.
9. Ginga C.P., Ongpeng J.M.C. and Daly M.K.M. Circular economy on construction and demolition waste : a literature review on material recovery and production. *Materials*. 2020, no. 13 (13), pp. 2970. DOI: 10.3390/ma13132970.
10. Razumova O.V., Bolshakov V.I., Savytskyi M.V., Bondarenko O.I., Kotov M.A. and Sharina T.O. *Suchasni napravlennia staloho mistobuduvannia : kolektyvna monohrafiia* [Modern directions of sustainable urban planning : collective monograph]. Edited by Dr. of tech. sc. M. Savytskyi. Dnipro : Vlasov V. A. Publishing, 2020, 259. (in Ukrainian).
11. Razumova O.V. *Kontseptsiiia staloho rozvytku suchasnoho mista pry rekonstruktsii budynkiv pershykh masovykh serii* [The concept of sustainable development of a modern city during the reconstruction of the first mass housing series]. *Visnyk Prydniprovskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury* [Bulletin of Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture]. 2017, no. 2, pp. 101–107. (in Ukrainian).

Надійшла до редакції: 02.11.2025.

УДК 622.457:519.8

DOI: 10.30838/UJCEA.2312.250226.102.1214

КОМПЛЕКСНИЙ СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ СЕЗОННОЇ ДИНАМІКИ ПОЖЕЖ З УРАХУВАННЯМ КЛІМАТИЧНИХ ЧИННИКІВ

РУСАКОВА Т. І.^{1*}, докт. техн. наук, проф.,

ВОЙТЕНКО Ю. В.², канд. техн. наук,

ДОЛЖЕНКОВА О. В.³, канд. техн. наук, с. н. с.,

ЗОЛОТЬКО О. В.⁴, канд. техн. наук, доц.,

ЛЕВИЦЬКА О. Г.⁵, канд. техн. наук, доц.

^{1*} Кафедра безпеки життєдіяльності, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, пр. Гагаріна, 72, 49000, Дніпро, Україна, e-mail: rusakovati1977@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-5526-3578

² Кафедра безпеки життєдіяльності, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, пр. Гагаріна, 72, 49000, Дніпро, Україна, e-mail: Juliya.voytenko.1983@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-0819-3794

³ Кафедра безпеки життєдіяльності, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, пр. Науки, 72, 49000, Дніпро, Україна, тел. +38 (050) 908-59-89, e-mail: dolena.2017@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-7970-8110

⁴ Кафедра безпеки життєдіяльності, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, пр. Гагаріна, 72, 49000, Дніпро, Україна, e-mail: zltkelena@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-2482-7574

⁵ Кафедра екології та охорони навколишнього середовища, Дніпровський державний технічний університет, вул. Дніпробудівська, 2, 51918, Кам'янське, Україна, e-mail: LLevi@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-2598-3651

Анотація. Постановка проблеми. Зростання кількості пожеж у Дніпропетровській області становить серйозну екологічну та соціально-економічну загрозу. Існує потреба у поглибленому аналізі їх сезонної динаміки з урахуванням метеорологічних чинників для ефективного прогнозування та запобігання пожежам. **Мета роботи** – здійснити комплексний статистичний аналіз пожеж у Дніпропетровській області за останні роки, визначити статистично значущі факторні змінні, а також розробити математичну модель для прогнозування пожеж з урахуванням міжрічної та сезонної активності, а також природно-кліматичних чинників. **Методика.** У дослідженні застосовано методи однофакторного та двофакторного дисперсійного аналізу для виявлення взаємодії між факторами «місяць» і «рік», а також методи прогнозування за моделлю ETS (експоненційного згладжування), яка враховує сезонність. Для побудови довгострокових прогнозних моделей щодо кількості пожеж використано методи кореляційно-регресійного аналізу. **Наукова новизна.** Здійснено статистичний аналіз пожежної активності у Дніпропетровській області з урахуванням як міжрічної, так і внутрішньорічної (сезонної) варіації на основі даних за 2020–2024 рр. та частково 2025 р. За допомогою двофакторного дисперсійного аналізу без повторень уточнено природу варіацій у кількості пожеж, які не були виявлені при однофакторному підході. Побудовано прогноз кількості пожеж на 2025 рік з використанням ETS-моделі, що показує задовільну збіжність за перші 4 місяці 2025 року. Запропоновано поділ річного циклу на три кліматично однорідні групи місяців для кореляційно-регресійного аналізу, щоб виявити специфіку впливу погодних чинників у кожному сезоні. Встановлено числові залежності між кількістю пожеж та конкретними метеорологічними параметрами (температурою, вологістю, опадами, швидкістю вітра) для кожної групи місяців. **Практична значущість.** Отримані результати можуть бути використані органами місцевого самоврядування, ДСНС та екологічними службами для підвищення ефективності запобігання та реагування на пожежі в Дніпропетровській області. Побудовані прогнозні моделі дають змогу заздалегідь оцінювати ймовірну кількість пожеж у різні періоди року та за різних погодних умов, що сприяє оптимізації розподілу ресурсів, плануванню профілактичних заходів, інформуванню та цивільному захисту населення. **Висновки.** Пожежна активність у Дніпропетровській області демонструє чітко виражену сезонну структуру з піками у весняно-літній період. Двофакторний дисперсійний аналіз показав статистично значущу взаємодію між роком та місяцем, що свідчить про сезонну зміну упродовж років. Побудована ETS-модель забезпечила задовільну точність прогнозу кількості пожеж на 2025 рік. Встановлено, що метеорологічні чинники по-різному впливають на частоту пожеж у різні сезони року, що підтверджено кореляційно-регресійним аналізом.

Ключові слова: пожежна безпека; цивільний захист; прогнозна математична модель; дисперсійний та кореляційно-регресійний аналіз; ETS-модель; природні ризики

COMPREHENSIVE STATISTICAL ANALYSIS AND FORECASTING OF SEASONAL FIRE DYNAMICS CONSIDERING CLIMATIC FACTORS

RUSAKOVA T.I.^{1*}, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,
VOYTENKO J.V.², *Cand. Sc. (Tech.)*,
DOLZHENKOVA O.V.³, *Cand. Sc. (Tech.), Sen. Res.*,
ZOLOTKO O.V.⁴, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*,
LEVYTSKA O.H.⁵, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*

^{1*} Department of Life Safety, Oles Honchar Dnipro National University, 72, Haharin Ave., Dnipro, 49010, Ukraine, e-mail: rusakovati1977@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-5526-3578

² Department of Life Safety, Oles Honchar Dnipro National University, 72, Haharin Ave., Dnipro, 49010, Ukraine, e-mail: Juliya.voytenko.1983@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-0819-3794

³ Department of Life Safety, Oles Honchar Dnipro National University, 72, Haharin Ave., Dnipro, 49010, Ukraine, tel. +38 (050) 908-59-89, e-mail: dolena2017@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-7970-8110

⁴ Department of Life Safety, Oles Honchar Dnipro National University, 72, Haharin Ave., Dnipro, 49010, Ukraine, e-mail: zltkelena@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-2482-7574

⁵ Department of Ecology and Environmental Protection, Dniprovsky State Technical University, 2, Dniprobudivska str., Kamianske, 51918, Ukraine, e-mail: LLevi@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-2598-3651

Abstract. Problem statement. The increase in the number of fires in the Dnipropetrovsk region under climate change conditions poses a serious environmental and socio-economic threat. There is a need for an in-depth analysis of their seasonal dynamics, taking into account meteorological factors, to enable effective forecasting and fire prevention. **The purpose of the article** is to conduct a comprehensive statistical analysis of fires in the Dnipropetrovsk region in recent years, identify statistically significant factor variables, and develop a mathematical model for fire forecasting, taking into account interannual and seasonal activity as well as natural and climatic factors. **Methodology.** The study employs one-way and two-way analysis of variance to identify interactions between the factors “month” and “year”, as well as forecasting methods based on the ETS (Exponential Smoothing) model, which accounts for seasonality. Correlation and regression analysis methods were used to construct predictive models for the number of fires. **Scientific novelty.** A systematic analysis of fire activity in the Dnipropetrovsk region was carried out, taking into account both interannual and intra-annual (seasonal) variability, based on data from 2020 to 2024 and partially from 2025. Using a two-way ANOVA without replication, the nature of variations in the number of fires – undetected by the one-way approach – was clarified. A forecast for the number of fires in 2025 was developed using the ETS model. A division of the annual cycle into three climatically homogeneous groups of months was proposed for correlation-regression analysis, aiming to reveal the specific impact of weather factors in each season. Numerical relationships were established between the number of fires and specific meteorological parameters (temperature, humidity, precipitation, wind speed) for each group of months. **Practical significance.** The obtained results can be used by local self-government bodies, the State Emergency Service, and environmental agencies to enhance the effectiveness of fire prevention and response in the Dnipropetrovsk region. The developed forecasting models make it possible to estimate the probable number of fires in advance for different periods of the year and under various weather conditions, which facilitates the optimization of resource allocation, planning of preventive measures, public information, and civil protection. **Conclusions.** Fire activity in the Dnipropetrovsk region demonstrates a clearly defined seasonal pattern, with peaks occurring during the spring and summer months. Two-way ANOVA revealed a statistically significant interaction between year and month, indicating changes in seasonal fire patterns over time. The constructed ETS model provided satisfactory accuracy in forecasting the number of fires for 2025. It was established that meteorological factors affect fire frequency differently across seasons, as confirmed by correlation-regression analysis.

Keywords: *fire safety; civil protection; predictive mathematical model; analysis of variance and correlation-regression analysis; ETS model; natural hazards*

Постановка проблеми. Антропогенний вплив та кліматичні зміни виступають постійними чинниками, що впливають на кількість пожеж як у світі загалом, так і зокрема в Дніпропетровській області. Спостерігається посилення впливу таких природно-кліматичних чинників, як температура, вологість повітря, кількість опадів, швидкість вітру, на формування

пожежної небезпеки, що зумовлює потребу у системному дослідженні динаміки цих явищ. У зв'язку з цим виникає необхідність у комплексному статистичному аналізі сезонних і міжрічних коливань пожежної активності з метою виявлення закономірностей її змін.

Актуальним завданням є виявлення статистично значущих факторів, що

впливають на частоту пожеж, а також розробка математичних моделей для короткострокового прогнозування кількості пожеж в екосистемах на найближчий рік та довгострокового – на наступні два-три роки. Важливу роль відіграють моделі, які враховують сезонність, річні зміни та кліматичні параметри, оскільки вони дозволяють не лише аналізувати дані з попередніх періодів, а й оперативно оцінювати потенційні ризики як на поточний момент, так і на майбутнє.

Очікувані результати дослідження можуть бути використані органами цивільного захисту, місцевого самоврядування та природоохоронними структурами для вдосконалення заходів запобігання й реагування на пожежі в екосистемах, а також для підвищення рівня екологічної безпеки в регіоні.

Аналіз останніх досліджень. Останні наукові роботи вказують на стійку тенденцію зростання частоти та інтенсивності пожеж у світі в екосистемах, зокрема в Україні, що можна пов'язати з глобальними змінами клімату. Зокрема, в роботі [1] досліджують пожежну активність у регіоні Українського Полісся на основі даних 2001–2023 років, встановлюючи зв'язок між зменшенням вологості та підвищенням температури. Це вказує на те, що зміна клімату є значним чинником, що впливає на пожежну ситуацію в регіоні.

Міжнародні дослідження підтверджують подібні тенденції у зв'язку між кліматом та частотою пожеж. В роботі [2] вивчається вплив кліматичних змін на силу та тривалість пожеж і підкреслюється, що зменшення кількості дощів та підвищення температури сприяють збільшенню частоти та інтенсивності пожеж у різних частинах світу. Водночас, результати дослідження [3] показують, що зміни клімату призводять не лише до збільшення кількості пожеж, а й до зростання економічних втрат і смертності внаслідок диму від пожеж у США.

Глобальне потепління також створює сприятливі умови для збільшення обсягів викидів вуглекислого газу CO₂, твердих часток PM_{2.5} та інших продуктів горіння, що

утворюються внаслідок природних пожеж. На основі Глобальної бази даних про викиди від пожеж (GFED) автори роботи [4] акцентують увагу на статистичних залежностях між змінами температури та частотою глобальних природних пожеж. Ці висновки мають важливе значення для прогнозування пожеж в екосистемах в умовах зміни клімату та для розробки політики щодо скорочення викидів.

Ще одне важливе дослідження [5] описує важкі лісові пожежі в Канаді у 2023 році. В ньому наголошуючи на тому, що зміни клімату значно підвищили інтенсивність і поширення пожеж. Прогнозується, що така тенденція буде зберігатися і у майбутньому, зокрема через підвищення середньорічних температур і зменшення рівня опадів.

Згідно з даними, представленими в доповіді [6], пожежі в Південній Кореї стали вдвічі більш імовірними внаслідок кліматичних змін. Це підтверджує висновки міжнародних досліджень щодо зміщення просторового розподілу та сезонності пожеж під впливом глобального потепління. Така тенденція свідчить про необхідність змін в управлінні ризиками відповідно до нових кліматичних реалій.

З огляду на ці глобальні тенденції, надзвичайно важливим є розуміння місцевих особливостей, які можуть включати специфічні кліматичні умови та соціально-економічні чинники. Так, дослідження [7] показує, що співпадіння пожежних сезонів у різних регіонах світу може призвести до глобальних катастрофічних подій.

В публікаціях [8–10] показано, що зміни клімату значно впливають на пожежну активність. В роботі [8] представлено глобальну картину сезонності пожеж і зміщення сезонних піків. У дослідженні [9] наголошується, що подальше потепління посилить нові режими пожеж, що матиме значні наслідки для екосистем та суспільства.

Одночасно із закордонними дослідженнями в Україні є стратегічний документ [11], що визначає напрямки енергетичної та кліматичної політики до 2030 року. Він містить аналіз ризиків, пов'язаних із змінами

клімату, включаючи зростання частоти та інтенсивності пожеж. Цей документ є основою для розробки моделей, які дозволяють краще прогнозувати пожежну активність та розробляти необхідні заходи для мінімізації ризиків у майбутньому.

Мета даного дослідження полягає в комплексному статистичному аналізі пожежної активності в Дніпропетровській області та розробці інструментів для короткострокового та довгострокового прогнозування, які враховують вплив кліматичних умов і сезонних коливань.

Опис об'єкта. Для досягнення даної мети поставлено наступні завдання:

- провести аналіз структури та сезонності пожежної активності за даними 2020–2024 років і частково 2025 року;

- здійснити оцінку впливу метеорологічних параметрів (температури повітря, вологості, кількості опадів, швидкості вітру) на частоту виникнення пожеж;

- виконати статистичне моделювання (зокрема, із застосуванням ETS-моделі та дисперсійного аналізу) з метою виявлення закономірностей у динаміці пожеж та короткострокового прогнозування;

- розробити кореляційну математичну модель для довгострокового прогнозування кількості пожеж на рівні двох-трьох років з урахуванням сезонних, міжрічних та погодних чинників.

Методи дослідження. У дослідженні застосовано комплекс статистичних методів аналізу пожежної активності в Дніпропетровській області за період 2020 – 2024 років. Для дослідження сезонної та міжрічної динаміки було використано: описову статистику для узагальнення основних характеристик вибірки; дисперсійний аналіз (ANOVA) для виявлення відмінностей у частоті пожеж між різними сезонами та роками; моделі часових рядів, зокрема ETS-модель (Error-Trend-Seasonality) для короткострокового прогнозування пожежної активності з урахуванням сезонних коливань; кореляційно-регресійний аналіз для визначення взаємозв'язку між кількістю пожеж та погодними показниками

(температурою повітря, кількістю опадів, вологістю, швидкістю вітру) та створення математичної моделі для довгострокового прогнозування; візуалізаційні методи (графіки, діаграми), для наочного представлення динаміки та тенденцій.

Методика дослідження. Для аналізу загальної кількості пожеж у Дніпропетровській області використано статистичні дані Головного управління ДСНС у Дніпропетровській області [12] та сервісу SoweEcoBot за 2020–2024 роки [13]. На основі середніх значень за місяцями побудовано діаграму з вусами (boxplot), яка відображає розподіл кількості пожеж у кожному місяці протягом досліджуваного періоду (рис. 1). Цей тип графіка демонструє: середнє значення (позначене хрестиком), медіану (лінія в середині «коробки»), міжквартильний розмах (межі коробки), а також мінімальні й максимальні значення (вуса – тонкі лінії за межами коробки).

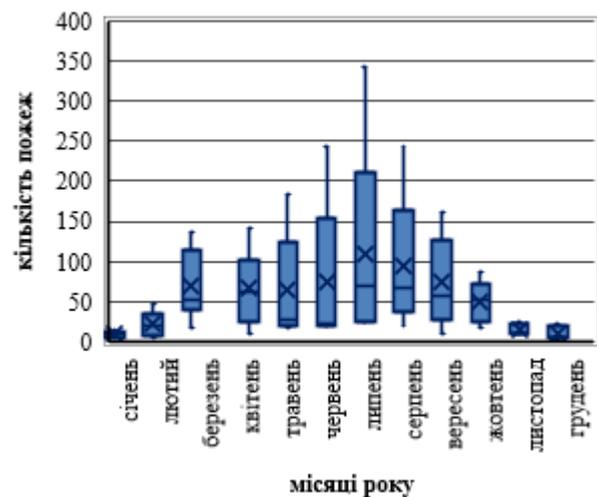


Рис. 1. Динаміка зміни загальної кількості пожеж впродовж 2020–2024 років

Динаміка зміни кількості пожеж за місяцями протягом п'яти років свідчить про загальні сезонні тенденції. Найменша кількість пожеж спостерігається у зимові місяці – січень, лютий, а також пізньої осені – у листопаді та грудні. Різне зростання починається з березня й продовжується навесні, досягаючи піку влітку. Найвища кількість пожеж фіксується в липні, з також високими показниками у червні та серпні.

Восени, починаючи з вересня, кількість пожеж поступово знижується.

Рівень варіативності та розкиду даних також змінюється залежно від сезону. Широки «ящики» на діаграмі в літні місяці, особливо в липні, свідчать про значну міжрічну мінливість кількості пожеж. Довгі «вуса» вказують на великі коливання значень. Натомість у зимові місяці спостерігається дуже низька варіативність: кількість пожеж залишається стабільно низькою, без значних відхилень. Також помітно, що в літній період середні значення та медіани, як правило, вищі, ніж в інші місяці, що свідчить про підвищений ризик пожеж у цей сезон.

Сезонна варіація кількості пожеж зумовлена поєднанням природно-кліматичних та антропогенних чинників. У теплий період року, переважно влітку, пожежна активність суттєво зростає через підвищення температури повітря, зниження атмосферної вологості, тривалі сухі періоди, а також внаслідок активнішого використання відкритого вогню на природних територіях. Восени та взимку, коли спостерігається вища вологість і зменшується рівень рекреаційної активності населення, ризик виникнення пожеж є мінімальним.

Оскільки в дослідженні аналізується кілька груп – 12 місяців протягом 5 років, виникає потреба з'ясувати, чи існують статистично значущі відмінності між їхніми середніми значеннями. З цією метою було застосовано дисперсійний аналіз (ANOVA), який дозволяє оцінити вплив окремих факторів (місяця та року) на залежну змінну (кількість пожеж), а також виявити суттєві відмінності між групами й можливу взаємодію між цими факторами. Аналіз охоплює дані про кількість пожеж у Дніпропетровській області за період 2020–2024 рр. та перші чотири місяці 2025 року.

На першому етапі дослідження було застосовано однофакторний дисперсійний аналіз з метою перевірки наявності статистично значущих відмінностей у середніх значеннях кількості пожеж між роками 2020–2025. Нульову гіпотезу H_0 сформульовано, як відсутність впливу

фактора «рік» на рівень пожежної активності. Основні результати аналізу наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Основні результати аналізу впливу фактора «рік»

Показник	Значення
$F_{\text{стат.}}$	7,47
$P_{\text{знач.}}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$
$F_{\text{кр.}}$	2,374

Дисперсія у 2020 році (11308,6) є істотно вищою порівняно з іншими роками, що свідчить про значну варіацію кількості пожеж у межах цього року. В інших роках спостерігається нижчий рівень дисперсії, що вказує на більшу стабільність показників. Отримане значення $F_{\text{стат.}} = 7,47$ перевищує критичне значення $F_{\text{кр.}} = 2,374$ при рівні значущості $\alpha = 0,05$, що дозволяє зробити висновок про статистично значущу різницю між середніми значеннями кількості пожеж за роками. Крім того, рівень значущості $P_{\text{знач.}} = 1,8 \cdot 10^{-5}$ значно менше за пороговий рівень 0,05, що підтверджує можливість відхилення нульової гіпотези H_0 . Це свідчить про наявність статистично значущих відмінностей у середній кількості пожеж між досліджуваними роками.

На другому етапі дослідження було проведено однофакторний дисперсійний аналіз з метою перевірки наявності статистично значущих відмінностей у середніх значеннях кількості пожеж між місяцями. Основні результати аналізу наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Основні результати аналізу впливу фактору «місяць»

Показник	Значення
$F_{\text{стат.}}$	1,58
$P_{\text{знач.}}$	0,132
$F_{\text{кр.}}$	1,978

Нульова гіпотеза H_0 полягала у припущенні про відсутність впливу фактора «місяць» на рівень пожежної активності.

Результати однофакторного дисперсійного аналізу показали, що значення $F_{\text{стат.}} = 1,58$ менше за критичне значення $F_{\text{кр.}} = 1,978$, а також $P_{\text{знач.}} = 0,132$ більше за

встановлений рівень значущості $\alpha = 0,05$. Таким чином, нульова гіпотеза H_0 не відхиляється, що свідчить про відсутність статистично значущих відмінностей у середній кількості пожеж між різними місяцями року. Це означає, що вплив місяця на кількість пожеж у даній вибірці є статистично незначущим. Хоча середні значення кількості пожеж у різні місяці (наприклад, у липні та серпні) можуть бути вищими, розкид даних усередині місяців є настільки великим, що загальна різниця між місяцями не є статистично достовірною.

На третьому етапі дослідження було застосовано двофакторний дисперсійний аналіз з метою оцінки, чи мають одночасно фактори «місяць» (календарний період) та «рік» (часовий період) статистично значущий вплив на середню кількість пожеж, а також для визначення наявності взаємодії між цими факторами (табл. 3).

Таблиця 3

Основні результати аналізу впливу факторів «рік» та «місяць»

Джерело варіації	$F_{\text{стат.}}$	$P_{\text{знач.}}$	$F_{\text{кр.}}$
місяці	2,62	0,011	2,01
роки	11,43	$1,9 \cdot 10^{-6}$	2,58

Результати двофакторного дисперсійного аналізу свідчать про статистично значущий вплив обох досліджуваних чинників, а саме місяця та року, на середню кількість пожеж.

Для фактора «місяць» отримано значення критерію Фішера $F_{\text{стат.}} = 2,62$, що перевищує критичне значення $F_{\text{кр.}} = 2,01$ при рівні значущості $\alpha = 0,05$. Відповідне $P_{\text{знач.}} = 0,011$, що є меншим за обраний поріг значущості. Таким чином, нульова гіпотеза про відсутність впливу місяця на кількість пожеж відхиляється, що свідчить про наявність статистично значущих сезонних коливань у середньомісячній кількості пожеж. Це дозволяє припустити, що деякі місяці (переважно літні) є більш вразливими до виникнення пожеж порівняно з іншими періодами року.

Фактор «рік» також виявився статистично значущим: $F_{\text{стат.}} = 11,43$,

$F_{\text{кр.}} = 2,58$, тобто $F_{\text{стат.}} > F_{\text{кр.}}$, $P_{\text{знач.}} = 1,9 \cdot 10^{-6}$, що свідчить про суттєві міжрічні варіації в середньому рівні пожежної активності. Це може бути пов'язано зі змінами кліматичних умов, наприклад, аномальною спекою або посухами, змінами в системі пожежної безпеки та з антропогенним навантаженням.

Загальна дисперсія в кількості пожеж на 24,3 % пояснюється місяцем (сезонністю), на 38,6 % – роком (часовим впливом), а 37,1 % складає залишкова дисперсія, тобто випадкові або невраховані фактори.

Таким чином, обидва чинники – рік та місяць мають значний внесок у варіацію кількості пожеж, що свідчить про необхідність врахування як сезонної, так і довгострокової часової динаміки при розробці заходів з пожежної профілактики та управління ризиками.

Результати одно- та двофакторного дисперсійного аналізу продемонстрували певні відмінності. Під час проведення однофакторного дисперсійного аналізу було перевірено, чи існують статистично значущі відмінності у середніх значеннях кількості пожеж між різними місяцями року. Аналіз показав, що при об'єднанні даних за всі роки (без урахування річного чинника), вплив місяця не виявився статистично значущим ($P_{\text{знач.}} > 0,05$). Це може бути наслідком того, що міжрічні коливання настільки великі, що «приглушують» можливий сезонний ефект.

У двофакторному дисперсійному аналізі без повторень, де оцінювався вплив обох чинників, а саме року та місяця, було встановлено, що фактор «місяць» має статистично значущий вплив на кількість пожеж ($P_{\text{знач.}} < 0,05$). Це пояснюється тим, що модель враховує окремий вплив року, а це дозволяє краще виокремити «чистий» сезонний ефект. Отже, сезонні коливання кількості пожеж є істотними, проте їх вплив стає статистично вираженим лише за умови врахування міжрічної варіації.

На наступному етапі дослідження, за допомогою функції Forecast.Ets.Confint, на основі методу експоненційного згладжування, було побудовано прогноз кількості пожеж на 2025 рік на основі

статистичних даних за 2020–2024 роки (рис. 2).

Отриманий графік дозволяє не лише оцінити очікувану кількість пожеж, але й визначити довірчий інтервал прогнозу з ймовірністю 95 %, що забезпечує високу

ймовірність потрапляння фактичних значень у межі прогнозу. У моделі враховано сезонність (інтервал 12 місяців), що підвищує її точність, оскільки вхідні дані мають річну циклічність (рис. 2)

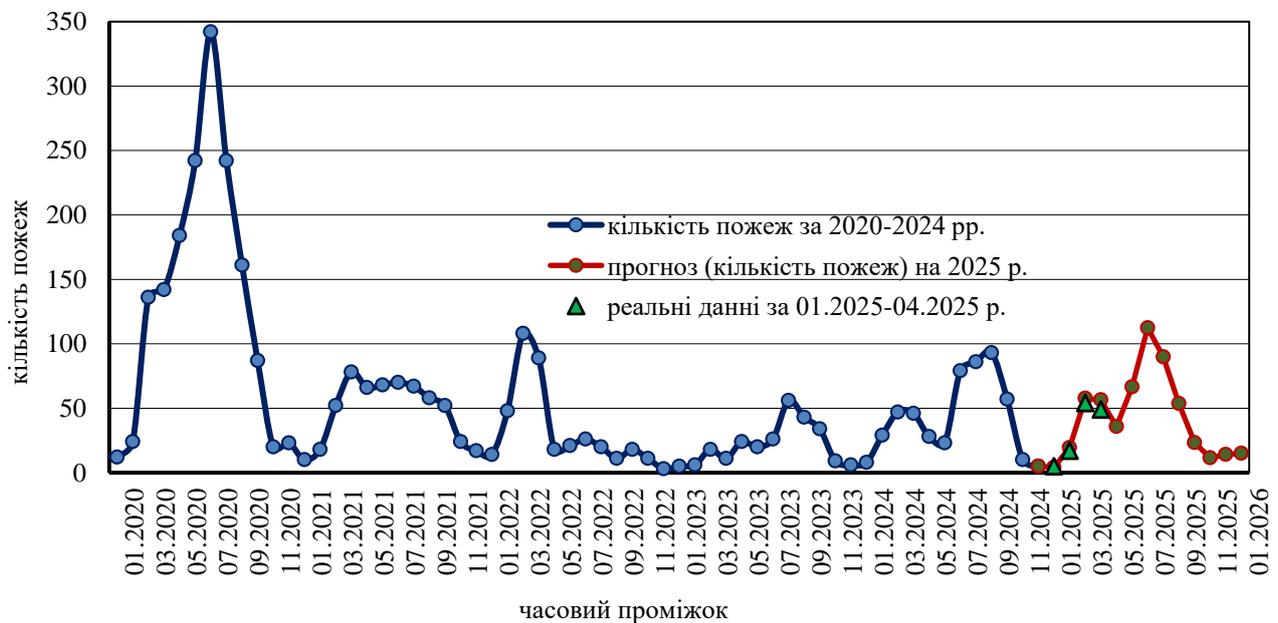


Рис. 2. Динаміка зміни кількості пожеж за 2020–2024 роки з урахуванням прогнозу на 2025 р.

Аналіз тенденції прогнозу на 2025 рік (червона лінія) демонструє чітко виражену сезонність, що відповідає динаміці попередніх років: зростання кількості пожеж навесні та влітку, спад – восени та взимку. У 2025 році прогнозується два помітних піки: перший – у квітні-травні (~60 випадків), другий і найвищий – у серпні (~110 випадків), що відповідає типовому літньому максимуму. Порівняння з фактичними даними за січень – квітень 2025 року (позначеними зеленими трикутниками) показує хорошу відповідність прогнозу: відносна похибка становить 6–15 %. Це свідчить про достатню точність ETS-моделі на короткострокову перспективу та підтверджує її надійність принаймні до кінця 2025 року.

Аналіз сезонності та циклічності підтверджує, що кількість пожеж з року в рік коливається в одних і тих самих часових проміжках, особливо у весняно-літній період, коли ризик зростає найбільше.

Це дає змогу завчасно підготуватися до пікових періодів ризику: розробити

профілактичні заходи, інформувати населення, планувати необхідні ресурси для забезпечення пожежної безпеки.

Водночас, незважаючи на загальний збіг прогнозу з фактичними даними, слід враховувати, що модель ETS не включає кліматичних змінних. Щоб врахувати такі фактори, як температура повітря, вологість, опади, швидкість вітру, які потенційно впливають на залишкову дисперсію у попередньому аналізі, необхідно перейти до множинного регресійного моделювання.

Попередній кореляційно-регресійний аналіз, що охоплював усі календарні місяці за 2020–2025 роки, виявив низькі значення коефіцієнтів кореляції та відсутність статистичної значущості, що свідчить про недоцільність побудови єдиної моделі для всього періоду без урахування сезонних відмінностей. Це зумовило необхідність поділу даних на окремі три групи для подальшого детальнішого аналізу.

Перша група – зимові місяці: листопад, грудень, січень і лютий.

Друга група – перехідні місяці: березень, квітень, жовтень.

Третя група – пожежонебезпечний літньо-осінній період: травень, червень, липень, серпень, вересень.

Кореляційний аналіз виявив ступінь і напрямок зв'язку між кількістю пожеж та різними кліматичними і часовими чинниками.

Для першої групи (листопад, грудень, січень, лютий) встановлено такі залежності. Сильна від'ємна кореляція між кількістю пожеж та: кількістю опадів ($r = -0,67$), вологістю повітря ($r = -0,59$), швидкістю вітру ($r = -0,64$). Ці зв'язки свідчать про зменшення ймовірності виникнення пожеж за умов підвищеної вологості та метеорологічної нестабільності. Позитивна кореляція з температурою повітря ($r = 0,61$), що відповідає характеру пожежної активності в цей період року. Помірна позитивна кореляція з місяцем року ($r = 0,42$), яка відображає сезонну динаміку змін. Від'ємна кореляція з роком ($r = -0,59$) може свідчити про тенденцію до зменшення кількості пожеж з часом, що може бути зумовлено погодними трендами або іншими факторами довготривалого впливу.

Рівняння множинної лінійної регресії, що описує залежність кількості пожеж $y_1(x_i)$ для першої групи місяців від основних факторів впливу, таких як, x_1 – місяця, x_2 – температури, x_3 – вологості, x_4 – швидкості вітру, x_5 – кількості опадів та x_6 – року має наступний вигляд (1):

$$y_1(x) = a_0 + a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + a_3 \cdot x_3 + a_4 \cdot x_4 + a_5 \cdot x_5 + a_6 \cdot x_6, \quad (1)$$

де відповідні коефіцієнти регресії у рівнянні (1) мають значення: $a_0 = 191,42$, $a_1 = -0,71$, $a_2 = 3,51$, $a_3 = -2,21$, $a_4 = 3,29$, $a_5 = -0,24$, $a_6 = -0,52$.

Проведений регресійний аналіз показав, що всі включені фактори мають статистично значущий вплив на кількість пожеж ($p < 0,05$). Зокрема, зростання температури повітря та швидкості вітру достовірно асоціюється зі збільшенням кількості пожеж. Зменшення вологості, опадів також

статистично значуще впливає на динаміку пожеж. Найбільший негативний ефект мають вологість і кількість опадів, що вказує на зниження ризику виникнення пожеж за умов підвищеної вологості. Швидкість повітряного потоку, навпаки, має позитивний вплив, що сприяє поширенню пожеж.

Значення множинного коефіцієнта кореляції $R = 0,87$ свідчить про тісний зв'язок між результуючою змінною (кількістю пожеж) та факторами, такими як місяць, температура повітря, вологість, швидкість вітру, кількість опадів і рік.

Коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,76$ вказує, що приблизно 76 % варіації у кількості пожеж може бути пояснено обраними незалежними змінними, що є достатньо високим показником ефективності моделі. Скоригований коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,66$ свідчить про хорошу узгодженість моделі з емпіричними даними.

Стандартна помилка моделі становить 6,16 %, що показує середнє відхилення між фактичними та прогнозованими значеннями кількості пожеж.

Результати дисперсійного аналізу підтверджують статистичну значущість регресійної моделі: значення критерію Фішера $F = 7,8$, $p = 0,00061 < 0,001$. Отже, модель є статистично значущою, а обрана сукупність факторних змінних справді має істотний вплив на кількість пожеж.

Кореляційний аналіз даних для другої групи місяців (березень, квітень та жовтень) засвідчив, що кількість пожеж зменшується зі зміщенням до пізніших місяців року $r = -0,43$, а також при збільшенні вологості повітря $r = -0,65$ та кількості опадів $r = -0,62$. Водночас, серед чинників, що сприяють зростанню кількості пожеж, слід відзначити підвищення температури $r = 0,41$ та особливо швидкість вітру $r = 0,66$, що є критичним для поширення вогню в природному середовищі.

Рівняння множинної лінійної регресії, що описує залежність кількості пожеж $y_2(x_i)$ для другої групи місяців (березень, квітень, жовтень) від основних факторів впливу x_1 – x_6 має вигляд (2):

$$y_2(x) = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + \\ + b_4 \cdot x_4 + b_5 \cdot x_5 + b_6 \cdot x_6, \quad (2)$$

де відповідні коефіцієнти регресії у рівнянні (2) мають значення: $b_0 = -203,84$, $b_1 = -9,06$, $b_2 = 13,81$, $b_3 = 5,99$, $b_4 = 27,62$, $b_5 = 0,69$, $b_6 = -12,7$.

Множинний лінійний регресійний аналіз показав, що для коефіцієнтів $b_1 - b_6$ рівень значущості p знаходиться в межах від 0,001 до 0,05, що свідчить про статистично значущий вплив цих змінних на кількість пожеж. Крім того, спостерігається зменшення кількості пожеж з роками $b_6 = -12,7$. Отримані результати узгоджуються з логічними припущеннями щодо чинників, які сприяють виникненню або стримуванню пожеж. Значення коефіцієнта множинної кореляції $R = 0,914$ говорить про наявність сильної позитивної кореляції між незалежними змінними та залежною змінною. Значення коефіцієнта детермінації $R^2 = 0,836$ означає, що приблизно 83,6 % варіації у залежній змінній пояснюється моделлю, що є свідченням її високої ефективності. Скориговане значення $R^2 = 0,747$ залишається на високому рівні, що свідчить про адекватність та обґрунтованість відібраних факторів у моделі. Стандартна похибка регресії дорівнює 13,98 % говорить про достатню точність моделі для практичного застосування.

Дисперсійний аналіз показав, що модель є статистично значущою: значення $F = 9,34$ за $p = 0,00087$, що менше 0,05.

З огляду на наведене, побудована модель (2) для другої групи місяців є статистично надійною, і може бути використана для подальших прогнозів або оцінки впливу окремих змінних на досліджуване явище.

Проведений кореляційний аналіз за період з травня по серпень показав, що найбільший вплив на кількість пожеж мають швидкість вітру $r = 0,73$, місяць $r = 0,64$ та температура повітря $r = 0,43$. Зі збільшенням опадів кількість пожеж зменшується $r = -0,43$, що узгоджується з очікуваннями. Також спостерігається зниження кількості пожеж у динаміці за роками $r = -0,64$.

Рівняння множинної лінійної регресії, що описує залежність кількості пожеж $y_3(x_i)$ для третьої групи місяців від основних факторів впливу $x_1 - x_6$ має вигляд (3):

$$y_3(x) = c_0 + c_1 \cdot x_1 + c_2 \cdot x_2 + c_3 \cdot x_3 + \\ + c_4 \cdot x_4 + c_5 \cdot x_5 + c_6 \cdot x_6, \quad (3)$$

де відповідні коефіцієнти регресії у рівнянні (3) мають значення: $c_0 = -1613,71$, $c_1 = 50,86$, $c_2 = 35,49$, $c_3 = 4,54$, $c_4 = 99,19$, $c_5 = 2,48$, $c_6 = -22,39$.

Множинний регресійний аналіз показав, що кількість пожеж зростає зі збільшенням температури повітря $c_2 = 35,49$, $p = 0,003$, швидкості вітру $c_4 = 99,19$, $p = 0,022$ та місяця $c_1 = 50,86$, $p = 0,018$, що вказує на більшу частоту пожеж у літні місяці. Помірний позитивний, але незначущий зв'язок спостерігається також з вологістю $p \approx 0,051$ та кількістю опадів $p \approx 0,052$. Всі ці фактори разом забезпечують статистично значущу модель.

Множинний коефіцієнт кореляції $R = 0,82$ свідчить про сильну кореляцію між факторними змінними та результуючою змінною. $R^2 = 0,673$ вказує на те, що 67 % варіації результату моделі можна пояснити використаними змінними. Це свідчить про хорошу прогностичну здатність моделі. Нормований $R^2 = 0,564$ підтверджує, що модель може пояснити близько 56 % варіації, з урахуванням достатньо великої кількості змінних у моделі. Це означає, що факторні змінні дійсно важливі. Стандартна помилка регресії 16,51 % є помірною, що свідчить про достатню точність прогнозів.

Дисперсійний аналіз також підтвердив статистично значущий вплив факторних змінних на результат. Обчислене значення F -критерію становить 6,17 при рівні значущості $p = 0,0012 < 0,01$. Це свідчить про те, що побудована регресійна модель є адекватною та добре описує варіацію кількості пожеж під впливом досліджуваних чинників.

Наукова новизна та практична цінність. Проведено комплексне дослідження впливу часових і кліматичних факторів на кількість пожеж із розподілом

даних за сезонними групами. Показано недоцільність застосування єдиної моделі для всього року без урахування сезонності. Побудовано окремі регресійні моделі для кожної групи місяців, що дозволили виявити різні чинники, які впливають на кількість пожеж. Запропоновано застосування ETS-прогнозування з урахуванням сезонної динаміки.

Результати дослідження дозволяють покращити прогнозування пожеж, узгодити профілактичні заходи до сезонних особливостей, а також більш ефективно планувати ресурси екстрених служб. Виявлені залежності можуть використовуватись для моделювання регіональної пожежної небезпеки з урахуванням погодних умов.

Висновки

1. Проведено статистичний аналіз впливу часових (місяць, рік) та метеорологічних (температура, вологість, опади, швидкість вітру) чинників на кількість пожеж за даними 2020–2024 років із урахуванням сезонної класифікації місяців.

2. Обґрунтовано через порівняння результатів одно- та двофакторного дисперсійного аналізу, що класичний однофакторний підхід без урахування міжрічної варіації не виявляє вплив сезонного чинника.

3. Використано метод експоненційного згладжування ETS, який дозволяє з високою ймовірністю прогнозувати очікувану кількість пожеж на найближчий рік.

4. Встановлено відмінності у характері впливу метеорологічних факторів на кількість пожеж у різних сезонних групах.

5. Побудовано окремі регресійні моделі пожежної активності для кожної групи місяців, що підвищує точність аналізу та прогнозування.

Прогнозні моделі пожежної активності можуть бути використані державними службами реагування на надзвичайні ситуації, органами місцевого самоврядування та природоохоронними структурами для розробки перспективних стратегій реагування на зміну клімату та екологічні загрози.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Boychenko S., Kuchm T., Karamushka V., Maidanovych N., Kozak O. Wildfires and Climate Change in the Ukrainian Polissia During 2001–2023. *Sustainability*. 2025. № 17 (5). Pp. 2223. URL: <https://doi.org/10.3390/su17052223>
2. Wasserman T. N., Mueller S. E. Climate influences on future fire severity: a synthesis of climate-fire interactions and impacts on fire regimes, high-severity fire, and forests in the western United States. *Fire Ecology*. 2023. № 19. P. 43. URL: <https://doi.org/10.1186/s42408-023-00200-8>
3. Law B. E., Abatzoglou J. T., Schwalm C. R. et al. Anthropogenic climate change contributes to wildfire particulate matter and related mortality in the United States. *Communications Earth & Environment*. 2025. № 6. P. 336. URL: <https://doi.org/10.1038/s43247-025-02314-0>
4. Jones M. W., Kelley D. I., Burton C. A. et al. State of Wildfires 2023–2024. *Earth System Science Data*. 2024. № 16. Pp. 3601–3685. URL: <https://doi.org/10.5194/essd-16-3601-2024>
5. Kirchmeier-Young M. C., Malinina E., Barber Q. E. et al. Human driven climate change increased the likelihood of the 2023 record area burned in Canada. *Climate and Atmospheric Science*. 2024. № 7. P. 316. URL: <https://doi.org/10.1038/s41612-024-00841-9>
6. Stanway D. South Korea's deadly fires made twice as likely by climate change – researchers say. *Reuters*. 2025. URL: <https://www.reuters.com/sustainability/cop/south-koreas-deadly-fires-made-twice-likely-by-climate-change-researchers-say-2025-04-30/>
7. Climate change increases the risk of simultaneous wildfires. *Helmholtz Centre for Environmental Research*. 2025. URL: <https://www.sciencedaily.com/releases/2025/04/250428221659.htm>
8. Andrea A., Cabrera A. A., Schall E. et al. Strong and lasting impacts of past global warming on baleen whales and their prey. *Global Change Biology*. 2022. № 28. Pp. 2657–2677. URL: <https://doi.org/10.1111/gcb.16085>
9. Higuera P. E., Shuman B. N., Wolf K. D. Rocky Mountain subalpine forests now burning more than any time in recent millennia. *Significance Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2021. № 118 (25). Pp. e2103135118. URL: <https://doi.org/10.1073/pnas.2103135118>
10. Energy Community Secretariat. Draft National Energy and Climate Plan of Ukraine 2025–2030. 2023. URL: <https://www.energy-community.org>

12. Головне управління статистики в Дніпропетровській області. URL: <https://dp.dsns.gov.ua/operational-information/dovidka-za-dobu> (дата звернення : 30.03.2025)

13. SaveEcoBot. Дані з системи FIRMS від NASA. <https://www.saveecobot.com/analytics/fires> (дата звернення : 10.04.2025).

REFERENCES

1. Boychenko S., Kuchm T., Karamushka V., Maidanovych N. and Kozak O. Wildfires and Climate Change in the Ukrainian Polissia During 2001–2023. *Sustainability*. 2025, no. 17 (5), p. 2223. URL: <https://doi.org/10.3390/su17052223>

2. Wasserman T.N. and Mueller S.E. Climate influences on future fire severity: a synthesis of climate-fire interactions and impacts on fire regimes, high-severity fire, and forests in the western United States. *Fire Ecology*. 2023, no. 19, p. 43. URL: <https://doi.org/10.1186/s42408-023-00200-8>

3. Law B.E., Abatzoglou J.T., Schwalm C.R. and al. Anthropogenic climate change contributes to wildfire particulate matter and related mortality in the United States. *Communications Earth & Environment*. 2025, no. 6, p. 336. URL: <https://doi.org/10.1038/s43247-025-02314-0>

4. Jones M.W., Kelley D.I., Burton C.A. and al. State of Wildfires 2023–2024. *Earth System Science Data*. 2024, no. 16, pp. 3601–3685. URL: <https://doi.org/10.5194/essd-16-3601-2024>

5. Kirchmeier-Young M.C., Malinina E., Barber Q.E. and al. Human driven climate change increased the likelihood of the 2023 record area burned in Canada. *Climate and Atmospheric Science*. 2024, no. 7, p. 316. URL: <https://doi.org/10.1038/s41612-024-00841-9>

6. Stanway D. South Korea’s deadly fires made twice as likely by climate change – researchers say. *Reuters*. 2025. URL: <https://www.reuters.com/sustainability/cop/south-koreas-deadly-fires-made-twice-likely-by-climate-change-researchers-say-2025-04-30/>

7. Climate change increases the risk of simultaneous wildfires. *Helmholtz Centre for Environmental Research*. 2025. URL: <https://www.sciencedaily.com/releases/2025/04/250428221659.htm>

8. Andrea A., Cabrera A.A., Schall E. and al. Strong and lasting impacts of past global warming on baleen whales and their prey. *Global Change Biology*. 2022, no. 28, pp. 2657–2677. URL: <https://doi.org/10.1111/gcb.16085>

9. Higuera P.E., Shuman B.N. and Wolf K.D. Rocky Mountain subalpine forests now burning more than any time in recent millennia. *Significance Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2021, no. 118 (25), pp. e2103135118. URL: <https://doi.org/10.1073/pnas.2103135118>

10. Energy Community Secretariat. Draft National Energy and Climate Plan of Ukraine 2025–2030. 2023. URL: <https://www.energy-community.org>

12. *Holovne upravlinnya statystyky v Dnipropetrovs'kiy oblasti* [Main Department of Statistics in Dnipropetrovsk Region]. Application date : 30.03.2025. URL: <https://dp.dsns.gov.ua/operational-information/dovidka-za-dobu> (in Ukrainian).

13. *SaveEcoBot. Dani z systemy FIRMS vid NASA* [SaveEcoBot. Data from the system FIRMS від NASA]. Application date : 10.04.2025. URL: <https://www.saveecobot.com/analytics/fires> (in Ukrainian).

Надійшла до редакції: 29.11.2025.

УДК 004.6+342.951:681.3.06+351.751(477)
DOI: 10.30838/UJCEA.2312.250226.113.1215

ПРОБЛЕМИ РОБОТИ ЗІ СЛУЖБОВОЮ ІНФОРМАЦІЄЮ В ДЕРЖАВНОМУ ДІЛОВОДСТВІ УКРАЇНИ : ІНСТИТУЦІЙНО-ПРАВОВИЙ АНАЛІЗ

САВЧЕНКО С. В.¹, *канд. іст. наук, доц.*,
ПРОКОФ'ЄВА К. А.^{2*}, *канд. філол. наук, доц.*,
РЕШЕТИЛОВА О. М.³, *канд. пед. наук, доц.*

¹ Кафедра документознавства та інформаційної діяльності, ННІ «Дніпровський металургійний інститут» Українського державного університету науки і технологій, пр. Науки, 4, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (095) 328-89-23, e-mail: serhijs@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-3615-2343

^{2*} Кафедра документознавства та інформаційної діяльності, ННІ «Дніпровський металургійний інститут» Українського державного університету науки і технологій, пр. Науки, 4, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (095) 760-79-90, e-mail: canopa@i.ua, ORCID ID: 0000-0003-4242-3346

³ Кафедра документознавства та інформаційної діяльності, ННІ «Дніпровський металургійний інститут» Українського державного університету науки і технологій, пр. Науки, 4, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (097) 585-08-23, e-mail: karunga@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-7975-0773

Анотація. У статті досліджуються правові аспекти регулювання службової інформації в Україні. Аналізується нормативно-правова база, що регламентує порядок віднесення інформації до категорії службової та використання грифу «Для службового користування» (ДСК). Виявлено суттєві невідповідності між прогресивними положеннями Закону України «Про доступ до публічної інформації» та застарілими підходами «Інструкції про порядок обліку документів з грифом ДСК». Також обґрунтовано необхідність реформування системи доступу до службової інформації відповідно до демократичних принципів прозорості та відкритості державного управління. Запропоновано шляхи вдосконалення нормативно-правового регулювання з метою забезпечення балансу між захистом службової інформації та реалізацією права громадян на доступ до публічної інформації.

Ключові слова: документування; документ; службова інформація; гриф «Для службового користування»; публічна інформація; інформаційна відкритість; державне управління; право на інформацію

PROBLEMS OF WORKING WITH PROPRIETARY INFORMATION IN PUBLIC RECORDS MANAGEMENT IN UKRAINE : INSTITUTIONAL AND LEGAL ANALYSIS

SAVCHENKO S.V.¹, *Cand. Sc. (Hist.), Assoc. Prof.*,
PROKOFIEVA K.A.^{2*}, *Cand. Sc. (Philol.), Assoc. Prof.*,
RESHETILOVA O.M.³, *Cand. Sc. (Ped.), Assoc. Prof.*

¹ Department of Business Documentation Management and Information Activity, ERI “Dnipro Metallurgical Institute” of the Ukrainian State University of Science and Technologies, 4, Nauky Ave., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (095) 328-89-23, e-mail: serhijs@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-3615-2343

^{2*} Department of Business Documentation Management and Information Activity, ERI “Dnipro Metallurgical Institute” of the Ukrainian State University of Science and Technologies, 4, Nauky Ave., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (095) 760-79-90, e-mail: canopa@i.ua, ORCID ID: 0000-0003-4242-3346

³ Department of Business Documentation Management and Information Activity, ERI “Dnipro Metallurgical Institute” of the Ukrainian State University of Science and Technologies, 4, Nauky Ave., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (097) 585-08-23, e-mail: karunga@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-7975-0773

Abstract. The article examines the legal aspects of regulating proprietary information in Ukraine. The author analyses the legal framework regulating the procedure for classifying information as proprietary and using the “For Official Use” (FOI) stamp. The author identifies significant discrepancies between the progressive provisions of the Law of Ukraine “On Access to Public Information” and the archaic approaches of the Instruction on the Procedure for Accounting for Documents with the DSK stamp. The author substantiates the need to reform the system of access to official information in accordance with the democratic principles of transparency and openness of public administration.

The author suggests ways to improve the regulatory framework with a view to ensuring a balance between the protection of proprietary information and the exercise of the right of citizens to access public information. Despite the progressive nature of the norms of the Law of Ukraine “On Access to Public Information”, the practical application of these norms is complicated by the inconsistency of subordinate regulatory legal acts, in particular the Instructions on the procedure for accounting for documents marked “For official use”. The Instruction, which was adopted back in 1998 and only slightly updated after 2011, contains a number of provisions that contradict the principles enshrined in the Law. The issue of access to information held by state authorities is one of the key indicators of the democratic nature of society and the effectiveness of public administration. In the context of the development of the information society and European integration processes in Ukraine, the problem of ensuring a balance between the openness of information and its restriction in order to protect the legitimate interests of the state and society is of particular relevance. The purpose of the study is to analyze the legal aspects of regulating official information in Ukraine, identify contradictions between legislative acts and subordinate regulatory legal acts in this area, and develop recommendations for improving the system of access to official information in accordance with democratic principles and international standards.

Keywords: *documentation; document; official information; stamp “For official use”; public information; information openness; public administration; right to information*

Актуальність. Прийняття Закону України «Про доступ до публічної інформації» у 2011 році стало важливим кроком на шляху забезпечення інформаційної відкритості органів влади [2]. Однак, реалізація принципів Закону стикається з низкою проблем, зокрема, пов’язаних із застарілими підходами до регулювання службової інформації, що відображені в Інструкції про порядок обліку документів з грифом «Для службового користування» (ДСК) [4].

Аналіз правозастосовної практики свідчить про значні труднощі у впровадженні прогресивних принципів вказаного закону. За даними моніторингових досліджень, проведених громадськими організаціями, лише 30 % запитів на доступ до інформації, що була позначена грифом ДСК, отримують обґрунтовану відповідь із застосуванням «трискладового тесту». Поширеними є формальні відмови із посиланням на внутрішні інструкції та переліки відомостей, що становлять службову інформацію, без належного обґрунтування потенційної шкоди від розголошення такої інформації.

Метою дослідження є аналіз правових аспектів регулювання службової інформації в Україні, виявлення протиріч між законом та підзаконними нормативно-правовими актами у цій сфері, а також розробка рекомендацій щодо вдосконалення системи доступу до службової інформації відповідно до демократичних принципів та міжнародних стандартів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Проблематика питання доступу до публічної інформації, була предметом наукових досліджень багатьох вітчизняних учених. Різні аспекти правового режиму інформації із обмеженим доступом досліджували І. Арістова [1], О. Нестеренко [3], В. Цимбалюк [6] та інші. Проте, питання правового регулювання службової інформації, особливо в контексті протиріч між Законом України «Про доступ до публічної інформації» та Інструкцією про порядок обліку документів з грифом ДСК, залишається недостатньо дослідженим.

Виклад основного матеріалу. Згідно зі статтею 9 Закону України «Про доступ до публічної інформації», службова інформація визначається як: «інформація, що міститься у документах суб’єктів владних повноважень, які становлять внутрівідомчу службову кореспонденцію, доповідні записки, рекомендації, якщо вони пов’язані із розробкою напряму діяльності установи або здійсненням контрольних, наглядових функцій органами державної влади, процесом прийняття рішень і передують публічному обговоренню та/або прийняттю рішень» [2]. Закон також відносить до службової інформації такі відомості, що зібрані безпосередньо у процесі оперативно-розшукової, контррозвідувальної діяльності, у сфері оборони країни, і які не віднесено до державної таємниці.

Визначені ключові ознаки службової інформації:

1) інформація стосується внутрішньої діяльності установи, її робочих процесів, підготовки до прийняття та безпосередньо прийняття рішень;

2) створення інформації передусє публічному обговоренню або прийняттю остаточного рішення;

3) інформація пов'язана із конкретними функціями суб'єкта владних повноважень такими як розробка стратегій, контроль, нагляд, підготовка рішень;

4) на відміну від державної таємниці чи умов конфіденційності, обмеження доступу до службової інформації має тимчасовий характер, пов'язаний із процесом підготовки рішень.

Важливо підкреслити, що Закон «Про доступ до публічної інформації» встановлює презумпцію відкритості інформації. У частині 2 статті 6 цього Закону йдеться про те, що обмеження доступу до інформації здійснюється відповідно до «трискладового тесту». Тобто доступ до інформації може бути обмежений лише за умови наявності сукупності таких вимог:

– виключно в інтересах національної безпеки, територіальної цілісності або громадського порядку з метою запобігання заворушенням чи злочинам, для охорони здоров'я населення, для захисту репутації або прав інших людей, для запобігання розголошенню інформації, одержаної конфіденційно, або для підтримання авторитету і неупередженості правосуддя;

– розголошення інформації може завдати істотної шкоди цим інтересам;

– шкода від оприлюднення такої інформації переважає суспільний інтерес в її отриманні [2].

Даний тест було розроблено неурядовою організацією «Стаття 19». Вона займається захистом свободи слова та інформації в усьому світі. Трискладовість (сукупна дія трьох компонентів тесту) є важливим інструментом для оцінки можливості обмеження доступу до публічної інформації. Тривалий час правозахисники критикували українське інформаційне право за відсутність імплементації цього тесту.

Попри прогресивність закону, практичне застосування його норм ускладнено через певну застарілість підходів, закладених у підзаконні акти [4]. Інструкція, яка була прийнята ще у 1998 році, містила низку положень, що погано узгоджуються із принципами закону:

– Інструкція передбачала, що те, що не було опубліковано до 1998 року, автоматично отримувало гриф ДСК, що суперечить принципу максимальної відкритості [8];

– поширення обмеження доступу на поєднані документи. Якщо документ з грифом ДСК вкладався у справу зі звичайними документами тієї самої тематики, вся папка отримувала гриф ДСК. Так само, звичайний документ, вкладений у справу із грифом ДСК, автоматично отримував цей гриф;

– Інструкція забороняла вносити до каталогів та покажчиків (навіть назви) документи з грифом ДСК, робити публічні виступи, використовуючи інформацію з таких документів;

– заборонялося використовувати для передачі службової інформації відкриті канали зв'язку, надсилати за межі України видання з грифом ДСК з метою книгообміну або експонування на відкритих виставках, презентаціях;

– при цьому не було вичерпного переліку категорій інформації, що можуть бути віднесені до службової, залишаючи це питання на розсуд відомств;

– на відміну від практики ЄС [7], де перегляд статусу інформації з обмеженим доступом здійснюється кожні 3-5 років, українська Інструкція не передбачала чітких строків та процедур розсекречення. Крім того, термін засекречення може постійно продовжуватися, якщо до справи додавати документи з новими строками [4];

– експертні комісії, які формують переліки закритих відомостей, надають пріоритет відомчим інтересам при бракові громадського контролю.

Були й логічні протиріччя, точніше, тези в одному положенні, які заперечують одна одну. «З введенням у дію цієї Інструкції

тиражовані документи, видані з грифом ДСК до 1991 року можуть розглядатися як відкриті документи за наявності письмової згоди організацій, що їх підготували, або правонаступників цих організацій» [4]. Як ж вони відкриті, якщо немає доступу без згоди, а згода є обов'язковою?

Така неузгодженість між законом та підзаконними актами призводить до того, що гриф ДСК може використовуватися для приховування інформації, що за законом «Про доступ до публічної інформації» становить суспільний інтерес і не може бути секретною [2].

Оновлення цієї Інструкції з 2016 по 2023 роки дещо покращило справу [5], найбільш недемократичні положення не дістали підтвердження у новій редакції, що свідчить про усвідомлення цієї проблеми законодавцем, однак низка спірних пунктів лишилася і потребує коректування.

Наприклад, дозвіл долучати до справи із грифом «Для службового користування» документи з відкритою інформацією, якщо такі документи стосуються питань такої справи. Тобто, не інформаційний зміст документа, а тематичний принцип класифікації документів стає приводом для засекречення.

Строк зберігання такої справи автоматично не встановлено, а визначається експертною комісією установи з проведення експертизи цінності документів у «ручному» режимі, не рідше одного разу на п'ять років. «Скасування грифа “Для службового користування” здійснюється за відсутності законних підстав для обмеження у доступі до службової інформації, які існували раніше» [5].

Якщо у справі із заголовком «Документи з грифом ДСК» містяться лише документи тимчасового зберігання, вона може не переформовуватися, а строк зберігання такої справи визначається найдовшим строком зберігання документів, що містяться в ній.

Впроваджено практику ретушування секретних фрагментів документа, виготовлення копії з цього ретушованого документа і видача цієї копії запитувачу.

Тож можна виділити вагомі причини, що призводять до неефективного правового регулювання службової інформації в Україні:

– бюрократична інерція та звичка до закритості;

– традиція «перестраховання», коли посадові особи часто віддають перевагу наданню грифу ДСК «про всяк випадок», щоб уникнути можливих звинувачень у розголошенні інформації;

– недостатнє розуміння фундаментального значення закону та його пріоритетності. Інструкція про ДСК може бути легшою для розуміння та застосування, навіть якщо вона призводить до надмірного обмеження доступу;

– відсутність ефективних механізмів незалежного громадського контролю та слабка відповідальність за необґрунтоване обмеження доступу до інформації сприяють поширенню практики надмірного засекречування.

Досвід демократичних країн, зокрема, членів ЄС, свідчить про необхідність дотримання балансу між захистом інформації в інтересах національної безпеки та забезпеченням принципу відкритості [7]. У більшості європейських країн існують чіткі критерії віднесення інформації до категорії із обмеженим доступом, автоматизовані строки перегляду статусу такої інформації (зазвичай 3–5 років), а також незалежні механізми контролю за обґрунтованістю обмеження доступу до інформації. У сучасному європейському праві існує чіткий принцип: інформація має бути відкритою, якщо немає законних підстав для її обмеження.

Для вдосконалення правового регулювання службової інформації в Україні необхідно:

1) чітко визначити категорії інформації, що може отримати гриф «ДСК». Це дозволить уникнути довільного застосування грифа та забезпечить відповідність обмеження доступу до інформації принципам, закладеним у Законі «Про доступ до публічної інформації»;

2) запровадити обов'язкові строки перегляду грифу ДСК. Доцільно встановити 3–5-річний строк, після якого інформація автоматично стає відкритою, якщо немає обґрунтованих підстав для продовження обмежень;

3) забезпечити незалежний контроль за присвоєнням та продовженням статусу ДСК. Це може бути реалізовано через Уповноваженого з прав людини або інший незалежний орган;

4) спростити процедуру оскарження. Необхідно створити ефективний механізм позасудового розгляду скарг на відмову в доступі до інформації;

5) впровадити принцип «презумпції відкритості». Якщо немає доказів, що розголошення інформації може завдати шкоди державним інтересам, вона має бути відкритою за замовчуванням;

б) провести комплексне навчання посадових осіб. Важливо забезпечити розуміння принципів та норм Закону «Про доступ до публічної інформації», а також правильне застосування критеріїв віднесення інформації до службової.

Аналіз рішень адміністративних судів України виявляє дихотомію підходів до вирішення спорів щодо доступу до інформації з грифом ДСК. Дослідження судових рішень демонструє, що у значній частині справ превалує формалістичний підхід, за якого суди визнають правомірність відмови у наданні доступу до інформації виключно на підставі наявності грифу ДСК, нехтуючи необхідністю ґрунтовного аналізу застосування «трискладового тесту», передбаченого частиною 2 статті 6 Закону України «Про доступ до публічної інформації».

Водночас є й позитивні сигнали. Спостерігається тенденція до формування альтернативної судової практики, що спирається на доктрину ієрархії нормативно-правових актів та принцип верховенства закону над підзаконними актами. Згідно із цим підходом, положення Закону України «Про доступ до публічної інформації» мають пріоритет над нормами Інструкції про порядок обліку документів з грифом ДСК,

що має безпосередні наслідки для правозастосовної практики.

Прогресивні рішення Верховного Суду поступово формують правову позицію, згідно із якою сам факт віднесення інформації до категорії службової не є автоматичною підставою для відмови у доступі до неї. Натомість, розпорядник інформації повинен у кожному конкретному випадку здійснювати обґрунтовану оцінку можливої шкоди від оприлюднення інформації та зіставляти її з суспільним інтересом у її отриманні, відповідно до методології «трискладового тесту».

Ця еволюція судової практики відображає загальний процес трансформації правової системи України в напрямку європейських стандартів інформаційної відкритості та прозорості в діяльності органів публічної влади.

Існує ще один важливий напрям оптимізації функціонування службової інформації – технологічний. Сучасні інформаційні технології можуть суттєво сприяти удосконаленню системи управління службовою інформацією та забезпеченню балансу між її захистом і доступністю.

Зокрема, розвиток цифрових рішень дає змогу автоматизувати процеси класифікації, обліку та зняття грифів обмеженого доступу. Наприклад, системи електронного документообігу, оснащені модулями штучного інтелекту, здатні аналізувати зміст документів, ідентифікувати потенційно чутливі дані та автоматично пропонувати відповідний рівень захисту або, навпаки, визначати доцільність надання публічного доступу. Такі системи, як Microsoft SharePoint із функціями автоматичного класифікування чутливості даних (Microsoft Purview) чи DocSpace (вітчизняна система електронного документообігу), вже застосовуються у деяких державних органах для підвищення ефективності роботи з інформацією.

Крім того, ІТ-інструменти індексування та анотування допомагають формувати стислі описи документів без порушення конфіденційності, що значно полегшує пошук та використання інформації. Це

особливо корисно в умовах великих масивів документів, коли необхідно швидко знайти потрібні матеріали без порушення правил доступу.

Особливого значення набувають платформи, що реалізують механізми «розумного» зняття грифів ДСК через задані часові інтервали або при виконанні певних умов – наприклад, завершення строку службового користування або закінчення терміну розслідування. У країнах ЄС для цього використовують спеціалізовані системи типу ARCOM Document Management System чи OpenText, які забезпечують автоматичне перекваліфікування статусу інформації згідно зі встановленими правилами.

Такі технології не лише підвищують ефективність державного документообігу, але й сприяють утвердженню принципів прозорості та відповідальної доступності державної інформації, одночасно забезпечуючи захист державних інтересів.

Висновки

Міжнародний досвід свідчить, що правові системи демократичних країн чітко регламентують межі обмеження доступу до інформації, зокрема через застосування принципу «шкоди та суспільного інтересу» (harm and public interest test). В Україні брак чітких критеріїв та механізмів оскарження грифа ДСК ускладнює доступ громадян до інформації, що є важливою для суспільного контролю. Це свідчить не лише про

юридичну колізійність, а й про глибокі проблеми у трансформації управлінської культури, де відкритість досі не є базовою управлінською нормою.

Концептуально порушена нами проблема спирається на теорію демократичної транспарентності (Р. Даль, Ю. Габермас), яка визначає відкритість інформації як фундаментальну умову демократичного врядування та громадського контролю. У межах цієї парадигми інформаційна відкритість забезпечує підзвітність органів державної влади, сприяє протидії корупції та підвищує легітимність державних інституцій. Водночас, теорія національної безпеки (Г. Моргентау, Б. Бузан) обґрунтовує необхідність обмеження доступу до певних категорій інформації задля захисту життєво важливих інтересів держави. Балансування між цими концептуальними підходами становить методологічну основу аналізу правового регулювання службової інформації в Україні.

Запропоновані у статті шляхи вдосконалення правового регулювання службової інформації сприятимуть забезпеченню балансу між захистом законних інтересів держави в інформаційній сфері, з урахуванням новітніх загроз, та реалізацією права громадян на доступ до публічної інформації, що є важливою умовою розвитку демократичного суспільства та ефективного державного управління.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Арістова І. В. Доктрина інформаційного права України. Харків, 2015. 440 с.
2. Закон України «Про доступ до публічної інформації» : від 13.01.2011 № 2939-VI. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2939-17#Text>
3. Нестеренко О. В. Право на доступ до інформації в Україні : конституційно-правовий аспект : автореф. дис. ... канд. юрид. наук : 12.00.02. Харків, 2008. 20 с.
4. Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Інструкції про порядок обліку, зберігання і використання документів, справ, видань та інших матеріальних носіїв інформації, які містять службову інформацію» : від 27.11.1998 № 1893 (зі змінами). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1893-98-%D0%BF#Text>
5. Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Типової інструкції про порядок ведення обліку, зберігання, використання і знищення документів та інших матеріальних носіїв інформації, що містять службову інформацію» : від 19.10.2016 № 736 (зі змінами). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/736-2016-%D0%BF#Text>
6. Цимбалюк В. С. Інформаційне право : основи теорії і практики : монографія. Київ, 2010. 388 с.

7. Regulation (EC). No 1049/2001 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2001 regarding public access to European Parliament, Council and Commission documents. *Official Journal of the European Communities*. 2001. L 145/43. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2001/1049/oj/eng>

8. Transparency and Open Government : Memorandum for the Heads of Executive Departments and Agencies, President Barack Obama, January 21, 2009. *Federal Register*. 2009. Vol. 74, № 15. URL: <https://obamawhitehouse.archives.gov/the-press-office/transparency-and-open-government>

REFERENCES

1. Aristova I.V. *Doktryna informatsiinoho prava Ukrainy* [Doctrine of Information Law of Ukraine]. Kharkiv : 2015, 440 p. (in Ukrainian).

2. *Zakon Ukrainy "Pro dostup do publichnoi informatsii"* [Law of Ukraine "On Access to Public Information"] : dated 13.01.2011 No. 2939-VI. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2939-17#Text> (in Ukrainian).

3. Nesterenko O.V. *Pravo na dostup do informatsii v Ukraini : konstytutsiino-pravovyi aspekt* [Right to Access to Information in Ukraine : Constitutional and Legal Aspect] : author's abstract. dis. ... cand. legal Sciences : 12.00.02. Kharkiv : 2008, 20 p. (in Ukrainian).

4. *Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy "Pro zatverdzhennia Instruksii pro poriadok obliku, zberihannia i vykorystannia dokumentiv, sprav, vydan ta inshykh materialnykh nosiiv informatsii, yaki mistiat sluzhbovu informatsiiu"* [Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine "On Approval of the Instruction on the Procedure for Accounting, Storage, and Use of Documents, Cases, Publications, and Other Material Carriers of Information Containing Official Information" : dated 27.11.1998 No. 1893 (as amended)]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1893-98-%D0%BF#Text> (in Ukrainian).

5. *Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy "Pro zatverdzhennia Typovoi instruksii pro poriadok vedennia obliku, zberihannia, vykorystannia i znyshchennia dokumentiv ta inshykh materialnykh nosiiv informatsii, shcho mistiat sluzhbovu informatsiiu"* [Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine "On Approval of the Model Instruction on the Procedure for Accounting, Storage, Use, and Destruction of Documents and Other Material Carriers of Information Containing Official Information" : dated 19.10.2016 No. 736 (as amended)]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/736-2016-%D0%BF#Text> (in Ukrainian).

6. Tsymbalyuk V.S. *Informatsiine pravo : osnovy teorii i praktyky* [Information Law : Fundamentals of Theory and Practice : monograph]. Kyiv, 2010, 388 p. (in Ukrainian).

7. Regulation (EC). No 1049/2001 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2001 regarding public access to European Parliament, Council and Commission documents. *Official Journal of the European Communities*, 2001, L 145/43. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2001/1049/oj/eng>

8. Transparency and Open Government : Memorandum for the Heads of Executive Departments and Agencies, President Barack Obama, January 21, 2009. *Federal Register*, 2009, vol. 74, no. 15. URL: <https://obamawhitehouse.archives.gov/the-press-office/transparency-and-open-government>

Надійшла до редакції: 15.11.2025.

УДК 622.831.31:622.112.3

DOI: 10.30838/UJCEA.2312.250226.120.1216

ОБҐРУНТУВАННЯ ФОРМ І РОЗМІРІВ ЗОН ІНЕКЦІЙНОГО ЗМІЦНЕННЯ В УМОВАХ АСИМЕТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА ПІДЗЕМНІ СПОРУДИ

СЛАЦОВ І. М.^{1*}, *докт. техн. наук, с. н. с.*,
БЄЛІКОВ А. С.², *докт. техн. наук, проф.*,
КРИВЕНКО Є. В.³, *асп.*,
КОРОТАЄВ В. М.⁴, *канд. юр. наук*,
ДІГТЯР К. В.⁵, *асп.*

^{1*} Відділ проблем розробки родовищ на великих глибинах, Інститут геотехнічної механіки ім. М. С. Полякова НАН України, вул. Сімферопольська, 2-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 7460151, e-mail: OASlashchova@nas.gov.ua, ORCID ID: 0000-0002-7161-1410

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: 6211484@gmail.com, ORCID ID: 0009-0002-4110-268X

⁴ Дніпропетровський науково-дослідний експертно-криміналістичний центр Міністерства внутрішніх справ України, Україна, Тупик Будівельний, 1, Дніпро, 49033, тел. +38 (056) 732-16-93, e-mail: exp-walter@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-0269-0389

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 (050) 452-08-19, e-mail: degtyar.kirill@gmail.com, ORCID ID: 0009-0009-5568-1249

Анотація. *Постановка проблеми.* Для умов асиметричних навантажень на підземні споруди, які викликані нерівномірним ослабленням порід внаслідок обводнення та інших природних і техногенних факторів, питання обґрунтування раціональних форм і розмірів зон ін'єкційного зміцнення вимагають подальших комплексних досліджень, що об'єднують геомеханіку, матеріалознавство та методи оптимізації. *Мета дослідження.* Обґрунтування параметрів зон ін'єкційного зміцнення порід для підвищенні рівня безпеки експлуатації підземних виробок та заглиблених споруд в умовах асиметричних навантажень на кріплення. *Методика.* Узагальнення даних з асиметричності навантажень на кріплення підземних споруд; методологія оцінки руйнування масиву порід; математичне моделювання методом скінченних елементів. *Результати.* Зміцнення порід навколо підземних виробок і заглиблених споруд дозволяє знизити ймовірність виникнення тріщин, запобігти розвитку деформацій і підвищити загальну стійкість об'єктів до впливу експлуатаційних і природних навантажень. Вимагають подальших досліджень питання обґрунтування раціональних форм та розмірів зон ін'єкційного зміцнення для умов асиметричних навантажень на підземні споруди, що викликані нерівномірним ослабленням порід внаслідок обводнень та інших природних і техногенних факторів. Визначені особливості процесу формування асиметричності навантажень на кріплення підземних споруд. Обґрунтована методика оцінки стану насиченого полімерами масиву порід та прогнозу його змін під впливом тих чи інших заходів зі зміцнення порід навколо підземної споруди. Встановлено, що зміцнення порід за рахунок ін'єкційних та інших технологій зміцнення ефективно компенсує недоліки кріплень без значного збільшення капітальних витрат. Крім того, застосування різних конфігурацій та схем розташування зон зміцнення дозволяє гнучко адаптуватися до конкретних геологічних умов, перерозподіляти напруження в породах, знижувати їх концентрації в потенційно небезпечних зонах, запобігати локальним обваленням, деформаціям та водоприпливам, що забезпечує довготривале безпечне використання підземних споруд. Для умов нерівномірних навантажень на кріплення запропонована асиметрична форма зміцненої зони, яка може бути використана як резерв підвищення стійкості підземної споруди. Встановлено, що еліпсоподібна форма зміцненої зони, як елемент управління гірським тиском, забезпечує підвищення стійкості підземної споруди за рахунок зменшення на 10–35 % зони непружних деформацій та зміщення вглиб на 0,5–3,0 м асиметричної зони опорного тиску. Зміщення покрівлі підземної виробки знижуються на 6–13 % від загальних зміщень, а підошви – на 7–23 %. *Наукова новизна.* Вперше для підвищенні рівня безпеки експлуатації підземних виробок та заглиблених споруд в умовах асиметричних навантажень на кріплення встановлені закономірності змін максимальних головних напружень при використанні різних еліпсоподібних форм зон ін'єкційного

зміцнення порід. **Практична значимість.** Запропоновані конфігурації зон ін'єкційного зміцнення знижують концентрації напружень у породах, що дозволяє запобігати раптовим деформаціям кріплень і забезпечувати довготривале безпечне використання підземних споруд.

Ключові слова: безпека експлуатації підземних виробок; заглиблені споруди; асиметричні навантаження на кріплення; форма зон ін'єкційного зміцнення; напружено-деформований стан порід

JUSTIFICATION OF THE FORMS AND DIMENSIONS OF INJECTION HARDENING ZONES UNDER CONDITIONS OF ASYMMETRICAL LOADS ON UNDERGROUND STRUCTURES

SLASHCHOV I.M.^{1*}, *Dr. Sc. (Tech.), Sen. Res.*,
BIELIKOV A.S.², *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,
KRYVENKO Yev.V.³, *Postgrad. Stud.*,
KOROTAIEV V.M.⁴, *Ph.D. (Juridical)*,
DIHTIAR K.V.⁵, *Postgrad. Stud.*

^{1*} Department of Mining at Great Depths, The M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2a, Simferopolska Str., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (056) 746-01-51, e-mail: gtmigtm@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-2432-9092

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 St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-73, 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 St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-73, e-mail: 6211484@gmail.com, ORCID ID: 0009-0002-4110-268X

⁴ Dnipropetrovsk Scientific Research Forensic Center of the MIA (Ministry of Internal Affairs) of Ukraine, 1, Construction Dead, Dnipro, 49033, Ukraine, tel. +38 (056) 732-16-93, e-mail: exp-walter@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-0269-0389

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 St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (050) 452-08-19, e-mail: degtyar.kirill@gmail.com, ORCID ID: 0009-0009-5568-1249

Abstract. Problem statement. For conditions of asymmetric loads on underground structures caused by uneven weakening of rocks due to flooding and other natural and man-made factors, issues of substantiating rational forms and sizes of injection hardening zones require further comprehensive studies combining geomechanics, materials science and optimization methods. **Purpose of the study.** Justification of the parameters of injection rock hardening zones to improve the safety level of underground workings and buried structures under conditions of asymmetric loads on the support. **Methods.** Generalization of data on the asymmetry of loads on the support of underground structures; methodology for assessing the rock massif destruction; mathematical modeling using the finite element method. **Research results.** Hardening of rocks around underground workings and buried structures allows to reduce the probability of cracks, prevent the development of deformations and increase the overall resistance of objects to the impact of operational and natural loads. The issue of substantiation of rational forms and sizes of injection hardening zones for conditions of asymmetric loads on underground structures which are caused by uneven weakening of rocks due to flooding and other natural and man-made factors requires further research. The features of the formation process of loads asymmetry on the support of the underground structures are determined. The method of assessing the state of the polymer-saturated rock massif and forecasting its changes under the influence of certain measures to strengthen the rocks around the underground structure is substantiated. It has been established that rock hardening by means of injection and other hardening technologies allows for effective compensation of supporting deficiencies without a significant increase in capital expenditures. In addition, the use of various configurations and arrangement schemes of hardening zones allows for flexible adaptation to specific geological conditions, redistribution of stresses in rocks, reduction of their concentrations in potentially hazardous zones, prevention of local collapses, deformations and water inflows, which ensures long-term safe use of underground structures. For conditions of uneven loads on the supports, an asymmetric shape of the hard-ened zone is proposed, which can be used as a reserve for increasing the stability of the underground structure. It is established that the nearly elliptical shape of the hardened zone as an element of rock pressure control ensures an in-crease in the stability of the underground structure due to a 10–35 % reduction in the inelastic deformation zone and a 0,5–3,0 m deep displacement of the asymmetric support pressure zone. The displacement of the roof of the underground workings is reduced by 6–13 % of the total displacements, and the workings floor by 7–23 %. **Scientific novelty.** For the first time, in order to increase the level of safety in the operation of

underground workings and buried structures under conditions of asymmetric loads on the support, patterns of changes in maximum principal stresses have been established when using various nearly elliptical shape of injection rock hardening zones. **Practical significance.** The proposed configurations of injection hardening zones reduce stress concentrations in rocks, which helps prevent sudden deformations of supports and ensure long-term safe use of underground structures.

Keywords: *safety of underground workings; buried structures; asymmetric loads on supports; shape of injection hardening zones; stress-strain state of rocks*

Постановка проблеми. Зміцнення порід навколо підземних виробок і заглиблених споруд дозволяє знизити ймовірність виникнення тріщин, запобігти розвитку деформацій і підвищити загальну стійкість об'єктів до впливу експлуатаційних і природних навантажень. Підкреслимо, що вимоги до довговічності та експлуатаційної безпеки інфраструктурних та промислових споруд постійно зростають [1].

Асиметричні навантаження на підземні споруди виникають внаслідок нерівномірного ослаблення порід, яке може бути викликане природними процесами, наприклад, обводненням або розміцненням порід. Важливу роль у нерівномірності навантажень вносять техногенні чинники – вібрації устаткування, динамічні впливи вибухових робіт чи руйнування суміжних виробок. В результаті виникають деформації, тріщини та обвалення, це ставить під загрозу безпеку і довговічність споруд. Аналіз особливостей деформування порід і втрати стійкості інженерних споруд підтверджує, що традиційні системи кріплення в умовах асиметричності навантажень і високої тріщинуватості порід не завжди забезпечують необхідний рівень стійкості.

Зміцнення порід являє собою технологію заповнення порожнин, пор і тріщин спеціальними складами (цементними, полімерними або хімічними), здатними до затвердіння. В результаті полімеризації розчину формується каркас, який підвищує міцність і водонепроникність порід, що сприяє зниженню деформацій порід, зменшує фільтрацію води і підтоплення споруд [2–4]. Параметрами зміцнення є змінені фізико-механічні характеристики

порід після застосування технології зміцнення (залежать від обраного способу зміцнення), а також форма, розміри та локалізація зміцнених зон щодо контуру споруди [5]. Основними характеристиками, що визначають ефективність зміцнення, є досягнута міцність і підвищення несучої здатності порід, які безпосередньо впливають на стійкість споруди. У той же час відмінності в складі порід, тріщинуватість, наявність водоносних джерел і динамічний характер навантажень, вимагають індивідуального підходу до вибору форми і розмірів зміцнених зон, наприклад, при поступовому посиленні нерівномірності деформацій через тривале обводнення [4; 6].

Існуючі методи проектування ін'єкційного зміцнення часто виявляються недостатньо гнучкими. Вони традиційно орієнтовані на симетричні навантаження і не враховують локальні аномалії або несиметричні деформації порід. Це призводить або до надмірного зміцнення та збільшення вартості підтримання виробки в експлуатаційному стані на 20–30 %, або до недостатнього зміцнення та ризику обвалів. Наприклад, у практиці будівництва метрополітену відомі випадки, коли недооцінка асиметрії навантажень через обводнення однієї зі стін тунелю призводила до втрати опори та необхідності масштабного ремонту [7]. Тому для умов асиметричних навантажень на підземні споруди, які викликані нерівномірним ослабленням порід внаслідок обводнення та інших природних і техногенних факторів, питання обґрунтування раціональних форм і розмірів зон ін'єкційного зміцнення вимагають подальших комплексних досліджень, що об'єднують геомеханіку,

матеріалознавство та методи оптимізації. Перспективним напрямом є застосування чисельних моделей [8; 9], що враховують непружні деформації, асиметрію навантажень та дані моніторингу.

Мета дослідження – обґрунтування параметрів зон ін'єкційного зміцнення порід для підвищення рівня безпеки експлуатації підземних виробок та заглиблених споруд в умовах асиметричних навантажень на кріплення.

Методи дослідження. Узагальнення даних з асиметричності навантажень на кріплення підземних споруд; методологія оцінки руйнування геосередовища; математичне моделювання методом скінченних елементів (МСЕ).

Результати досліджень.

1. Процес формування асиметричності навантажень на кріплення підземних споруд.

Розглянемо причини формування асиметричності навантажень на кріплення підземних та заглиблених споруд. Спочатку при будівництві споруд на кріплення, що утримує породи від обвалення, діє відносно рівномірне навантаження, обумовлене силами гірського тиску. У нормальних умовах, коли породи стійкі та їх структура не порушена, тиск на кріплення розподіляється рівномірно по всій площі контактної поверхні. Такий рівномірний розподіл навантаження дозволяє забезпечити надійне кріплення споруди і мінімізувати деформації. Однак, при впливі додаткових негативних факторів, пов'язаних з обводненнями, вибуховими динамічними впливами або вібраціями, породи послаблюються, їх структурна цілісність порушується. Зокрема, вплив води значно знижує міцність порід внаслідок розмиву розчинних глинистих мінералів, а також підвищує гідростатичний тиск внаслідок заповнення водою пор і тріщин. Вибухи та вібраційні впливи викликають локальні руйнування порід, порушують їх внутрішню структуру та знижують міцність.

Ослаблення порід призводить до зміни напрямку та величини навантажень, що викликає перерозподіл тиску на кріплення. У місцях, де породи втрачають свою міцність, оскільки вони вже не можуть витримувати колишній тиск, навантаження на кріплення починають зростати, напруження перерозподіляються. На ділянках масиву порід, де відбулися деформації навколо виробки, напруження знижуються. На сусідніх ділянках, навпаки, напруження збільшуються. Внаслідок цього процесу навантаження на кріплення кардинально змінюються, стають нерівномірними та асиметричними.

Схили на земній поверхні також створюють нерівномірний розподіл вертикальних та горизонтальних напружень в масиві порід, що призводить до асиметричного навантаження на заглиблені виробки. Поблизу укосів і схилів збільшується горизонтальна складова напружень з одного боку, а з протилежної – знижується. Зі збільшенням кута нахилу схилу асиметричність напруженого стану навколо підземної виробки посилюється. Чим крутіше схил, тим більше горизонтальна складова навантаження з боку схилу і тим вищий градієнт напружень в масиві порід. Особливо небезпечні потенційні зсувні ділянки, де виникають додаткові горизонтальні та дотичні напруження, спрямовані у бік зсувного руху. Якщо є небезпека активізації зсуву внаслідок зовнішніх динамічних впливів (вибухів, землетрусів), то потрібно зміцнення не тільки схилів, а й кріплення підземних споруд.

Таким чином, на певних ділянках підземних споруд навантаження значно зростають, оскільки порушується баланс сил, що діють на породи. В результаті збільшується асиметричність зміщень контуру підземних і заглиблених споруд. Кріплення інтенсивно деформуються і можуть бути зруйновані (у тому числі і раптово), якщо деформації перевищують

допустимі межі. Крім того, при руйнуванні порід навколо споруди збільшується їх тріщинуватість, суттєво зростає проникність та ризики прориву води. Очевидно, що комплекс практичних заходів щодо безпечного підтримання підземних виробок, у тому числі із застосуванням технологій зміцнення порід, повинен розроблятися з урахуванням протидії цим негативним процесам.

2. Методологія оцінки процесів руйнування геосередовища в умовах його зміцнення полімерами.

Використання способів та засобів з підвищення стійкості підземних споруд, які пов'язані зі зміцненням приконтурної зони порід, потребує завчасної оцінки стану геосередовища при насиченні його полімерами та прогнозу його змін під впливом тих чи інших технологічних заходів. В свою чергу, вивчення і аналіз напружено-деформованого стану (НДС) масиву порід незалежно від складності та багатофакторності можуть бути здійснені на імітаційній моделі геосередовища.

Сучасна наука трактує імітаційну модель як цифрову копію (цифровий двійник) геосередовища, який дозволяє проводити безпечні чисельні експерименти при зміні параметрів та процесів. Процеси моделюються за допомогою спеціального програмного забезпечення з використанням необхідних вхідних даних [10; 11]. Для оцінки стійкості геотехнічних об'єктів, до яких, у тому числі, відносяться підземні виробки та заглиблені споруди, цифрова копія створюється для породного масиву, як середовища, де розташовані виробки, і моделюються супутні процеси, що впливають на зміну стану середовища (деформаційні, газодинамічні,

гідрогеологічні та інші процеси). Такі моделі досить складні і, певною мірою, ідеалізовані (наприклад, пружні моделі середовища). Водночас сучасні інформаційні технології та методи їх реалізації удосконалювалися у багатьох роботах, наприклад, [11; 12]. Особливості побудови цифрових копій досліджуваних об'єктів для умов зміцненого полімерами масиву гірських порід також безумовно потребують подальшого вдосконалення, а їх застосування повинно відбуватися згідно відповідної методики.

Імітаційне моделювання геосередовища неможливо реалізувати тільки точними аналітичними методами, які часто приводять до математично некоректних результатів, оскільки ріст деформації при розміщенні порід супроводжується зменшенням напруження по абсолютній величині, а завдання коефіцієнтів структурного ослаблення в аналітичних розрахунках досить проблематичне або зовсім неможливе. У таких умовах кількісний аналіз напружень і деформацій можна коректно проводити за допомогою імітаційних геомеханічних моделей, що базуються на суміщенні принципів механіки суцільних середовищ і теорії граничних станів з методом початкових напружень і алгоритмами його реалізації.

У загальному виді, послідовність рішення задачі полягає в: розрахунку напружень і деформацій до і після насичення полімерами геосередовища навколо гірничої виробки, виявленні зон непружних деформацій, аналізі геомеханічних процесів і, у підсумку, оцінці змін НДС породного масиву під впливом зонального зміцнення гірських порід (рис. 1).



Рис. 1. Структурна схема методики імітаційного моделювання процесів руйнування геосередовища в умовах його зміцнення полімерами

Основні етапи методики імітаційного моделювання:

– коректне визначення необхідних для розрахунків фізико-механічних властивостей гірських порід, побудова структурної геологічної схеми (потужність і послідовність залягання шарів);

– розробка геомеханічної розрахункової схеми досліджуваної ділянки масиву на базі структурної геологічної схеми;

– розробка геомеханічної моделі, яка включає весь комплекс даних про вхідний напружений стан, властивості та структурні особливості порід, а також дані про параметри підземних споруд і

алгоритми реалізації непружної деформаційної моделі середовища. У процесі розробки виділяється літологія порід, виконується дискретизація досліджуваної області, встановлюються жорсткі зв'язки і граничні умови, визначається вага та фізико-механічні властивості порід;

– аналіз інформативних параметрів НДС порід, прогноз стану геосередовища та його змін під впливом насичення полімерами.

Математична модель відповідає умові спільності деформацій, яка у суцільному середовищі гарантує, що поле деформацій безперервне та визначає поле переміщень (без розривів). Вони забезпечують

фізичну реалізованість деформованого стану, для двовимірної моделі:

$$\varepsilon_x = \frac{du_x}{dx}, \varepsilon_y = \frac{du_y}{dy}, \gamma_{xy} = \frac{du_x}{dy} + \frac{du_y}{dx}, \quad (1)$$

де u_x, u_y – осьові переміщення; $\varepsilon_x, \varepsilon_y$, – повні відносні деформації за координатними осями x, y ; γ_{xy} – деформації зсуву.

У разі ізотропного лінійно пружного матеріалу взаємозв'язок між напруженнями та деформаціями виражається у вигляді математичного співвідношення:

$$\sigma_x = \frac{E}{1-\mu^2} \left(\frac{du_x}{dx} + \mu \frac{du_y}{dy} \right);$$

$$\sigma_y = \frac{E}{1-\mu^2} \left(\frac{du_y}{dy} + \mu \frac{du_x}{dx} \right), \quad (2)$$

де μ – коефіцієнт Пуассона; E – модуль пружності, Па.

Умова сумісності напружень і деформацій:

$$\frac{d^2(\sigma_x - \mu\sigma_y)}{dx^2} + \frac{d^2(\sigma_y - \mu\sigma_x)}{dy^2} =$$

$$= \frac{2(1+\mu)d^2\tau_{xy}}{dxdy}, \quad (3)$$

де τ_{xy} – дотичні напруження; σ_x, σ_y – осьові нормальні напруження.

Ефективне моделювання процесів непружного деформування та руйнування середовища зі змінними властивостями вимагає інтеграції методу скінченних елементів з методикою реалізації методу початкових напружень. Фактичні максимальні і мінімальні головні напруження при знеміцненні порід:

$$\sigma_1 = [\sigma_1] - \left(\frac{\varepsilon_1 - [\varepsilon_1]}{(k-1)[\varepsilon_1]} \right) ([\sigma_1] - \sigma_1^{rs}) \quad (4)$$

$$\sigma_3 = \frac{E_i(\varepsilon_1 + \varepsilon_1 \operatorname{ctg} \xi) + 2\tau_0 \operatorname{ctg}(45 - \varphi/2)(\mu - 1)}{(1 - \mu)(1 + \operatorname{ctg} \xi)}$$

де $[\sigma_1], \sigma_1^{rs}, [\varepsilon_1], \varepsilon_1^{rs}$ – максимальні головні напруження і деформації, граничні і залишкові відповідно (Па); k – коефіцієнт, що характеризує крихкість породи; τ_0 – міцність на зсув, Па; $\operatorname{ctg} \xi$ – параметр, що визначає закон пластичної течії; φ – кут внутрішнього тертя, град.

Математичне моделювання виконано на програмному комплексі GEO-RS[®], який застосовується для аналізу стійкості оголень масиву порід та оперативного прогнозу геомеханічних процесів з використанням МСЕ [7]. Програмне забезпечення забезпечує можливість визначення геометричних та енергетичних параметрів зон руйнування порід (довжини, об'єму, потенційної енергії, інтенсивності деформування, зон зародження руйнувань), систем техногенних магістральних тріщин, високу точність результатів.

3. Дослідження форм і розмірів зон ін'єкційного зміцнення.

Різні форми зон зміцнення, такі як еліпсоподібні, розширені або асиметричні, сприяють тому, щоб напруження перерозподілялися рівномірно і не створювали локальних піків поблизу боків виробки. Завдяки цьому знижується ризик руйнувань, спричинених концентрацією напружень в обмежених зонах, які є найбільш вразливими.

Технології зміцнення з використанням ін'єкційних матеріалів, анкерів або механічного зміцнення доповнюють адаптивний підхід [5] за рахунок створення більш міцних і стійких областей в породах, де очікуються найбільші руйнування. Ці технології дозволяють змінювати механічні властивості порід, покращуючи їх здатність витримувати навантаження. Крім того, сучасне обладнання для спорудження зміцнених зон дає можливість точного контролю їх розмірів, форми та глибини, що дозволяє уникати помилок та неточностей під час проектування. При використанні таких способів підвищення стійкості

передбачається створення навколо виробки породної зони підвищеної міцності, яка повністю або частково сприймає навантаження від сил гірського тиску.

Фізико-механічні властивості порід навколо підземної виробки встановлювалися на основі усереднених даних опору порід одноосьовому стисненню $[\sigma]$ для аргіліту (модуль пружності $E = 4,0 \cdot 10^4$ МПа, коефіцієнт Пуассона $\mu = 0,3$, об'ємна вага $\gamma = 2,4$ т/м³, межа міцності при зсуві $\tau_0 = 10,0$ МПа, кут внутрішнього тертя $\phi = 35$ град.).

Враховувався коефіцієнт структурного ослаблення [13–15], який змінювався залежно від тріщинуватості та обводненості порід відповідно до таблиці. У вузлах на контурі підземної виробки було задано нормальне розподілене навантаження, що моделювало відсіч стандартного кріплення (120 кН). Розподілене навантаження, розраховане на 1 м периметра – 0,015 МН/м. Верхня межа розрахункової схеми встановлювалася рухомою у вертикальному напрямку, а нижня та бічні – фіксованими у двох напрямках.

Таблиця

Властивості порід у зонах ін'єкційного зміцнення навколо підземної виробки

Порода, матеріал	Межа міцності на стиснення $[\sigma]$, МПа	Коефіцієнт зниження міцності			
		Тріщинуватість		Водопритлив	
		Тріщинуваті	Сильнотріщинуваті	Сильна крапель	Крапель і струмені
Аргіліт	34,0	0,7	0,5	0,9	0,8
Полімери:					
– MC Montan Injekt FN	75,0	1,0	1,0	1,0	1,0
– Carbo Pur WF	80,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Звісно, що стійкість підземної споруди визначається за величинами зміщень різних ділянок контуру виробки (поточних і прогнозованих на певний час) на які впливають локалізація тріщинуватих і обводнених зон, орієнтація домінуючих зміщень та інші параметри. У кінцевому підсумку, проводиться оцінка стійкості об'єкта в цілому за гранично допустимими зміщеннями, які регламентуються в залежності від типу споруди та її призначення, способів охорони та підтримання. Наприклад, для податливих кріплень втрата стійкості визначається по вичерпанню конструктивної податливості кріплення, коли зміщення покрівлі перевищують 600–1 200 мм.

Параметрами способів зміцнення вважають ширину зони зміцнення та коефіцієнт підвищення міцності порід k . Зазвичай питання підвищення стійкості підземних споруд, що підтримуються такими способами, вирішуються шляхом аналізу зазначених параметрів при їх

рівній ширині в покрівлі, підшві або боках виробки, тобто форма зміцнення має форму, близьку до кола. Однак при асиметричних навантаженнях форму зміцненої зони логічно створювати близькою до еліпса (рис. 2).

На наш погляд, кругова форма має суттєві недоліки, які пов'язані з тим, що навколо виробки довільної форми по периметру контуру в різних радіальних напрямках напружено-деформований стан порід суттєво різниться. У такому разі використання будь-якого зі способів зміцнення в локальній зоні приконтурної частини виробки призводить до зміни загальної картини напружень, які, у свою чергу, змінюються і впливають як на зону зміцнення, так і на поруч розташовані ділянки масиву. Тому зону зміцнення логічно розглядати комплексно і представляти її не тільки шириною (або радіусом кола), але і її більш складною конфігурацією (у нашому випадку близькою до еліпса) з відповідними параметрами.

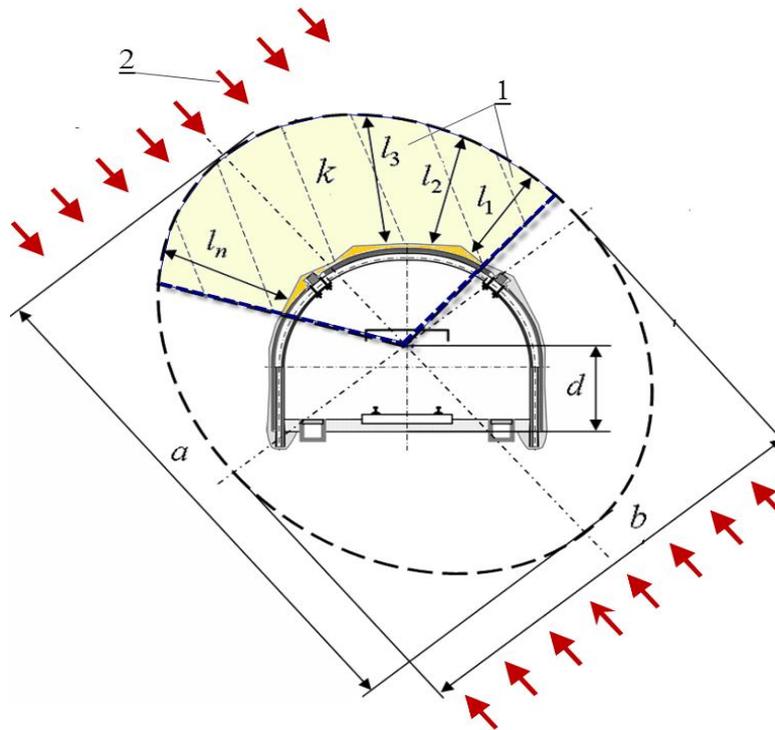


Рис. 2. Основні параметри еліпсоподібної зони зміцнення для умов нерівномірних навантажень на кріплення підземних і заглиблених споруд :
 1 – сектор зони зміцнення; 2 – орієнтація домінуючих деформацій

Внаслідок того, що найбільшу стійкість в умовах нерівномірних навантажень представляє еліпсоподібна форма зміцненої зони, вона прийнята як базова конфігурація. Очевидно, що такого типу несиметрична породна «конструкція» матиме найбільшу опірність у напрямку великої осі еліпса, яка має бути спрямована за напрямом максимальних головних деформацій. У цьому випадку параметри зміцненої зони можуть бути представлені у вигляді

геометричних характеристик еліпса із зазначенням довжини його великої a та малої b осей, які орієнтовані у просторі під певним кутом, а також залежності кута нахилу великої осі від напрямку або характеру деформацій порід.

Зони зміцнення були представлені еліпсоподібними секторами (рис. 2). Геометричні розміри моделі описані параметрами, що характеризують ширину зони зміцнення в різних радіальних напрямках (l_1, l_2, \dots, l_n).

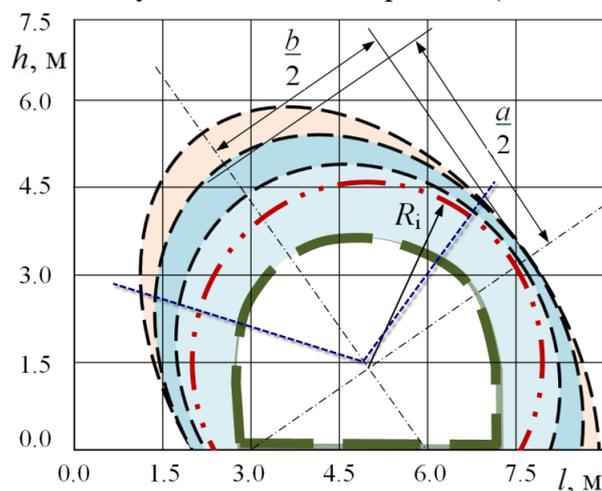


Рис. 3. Досліджувані форми еліпсоподібних секторів зони зміцнення

Дослідження перерозподілу напружень проведено для умов формування нерівномірного гірського тиску на кріплення для зон зміцнення, представлених еліпсоподібними формами (рис. 3). Геометричні параметри

еліпсоподібних форм зміцнених зон були встановлені перерахунком з умови рівності об'ємів зміцнення відносно кругової форми (для адекватності порівняння результатів).

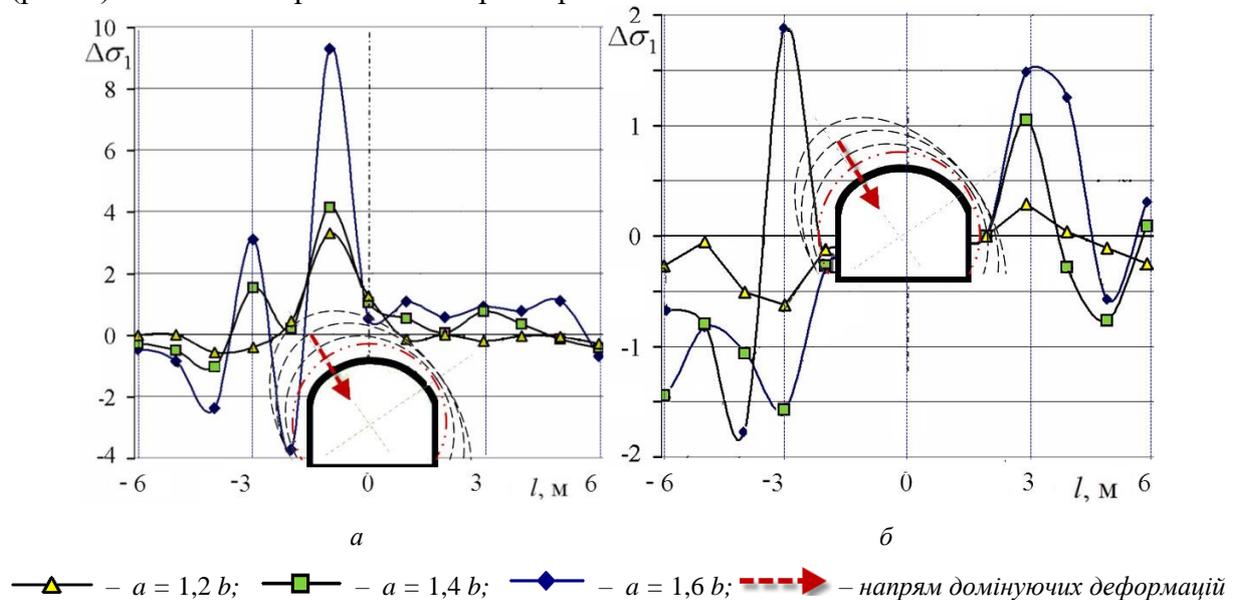


Рис. 4. Результати порівняння максимальних головних напружень при використанні різних еліпсоподібних σ_1^{el} і кругової σ_1^{cir} форм зміцнених зон (зміни напружень $\Delta\sigma_1 = \sigma_1^{cir} - \sigma_1^{el}$ в МПа):
а – на відстані 0,7 м у покрівлі над підземною спорудою; б – у боках підземної споруди

Механічна реакція оточуючих виробку порід на зміну форми зміцненої зони проаналізована по зміні значень максимальних головних напружень, які визначені за горизонтальними перерізами в боках і у покрівлі над виробкою (рис. 4). Графіки, побудовані по різниці максимальних напружень в приконтурному масиві для кожного з еліпсоподібних секторів зон зміцнення і напружень при круговій формі зміцнення. У всіх випадках використання еліпсоподібних зон відзначається позитивний ефект. З боку виробки, де спостерігаються максимальні деформації порід, при зміні еліпсоподібної форми з параметрів $a/b = 1,2$ до $a/b = 1,6$ напруження у безпосередній покрівлі знижуються на 3–9 МПа, у вищележачій покрівлі на 0,5–1,5 МПа. Найбільший ефект досягається в основній покрівлі при $a/b = 1,6$. Реакція порід на зміни форми зміцненої зони у вищележачій покрівлі більш згладжена, ніж у безпосередньої покрівлі, напруження змінюються на

менш значну величину до 1,2 МПа. Тобто по напрямку максимальних деформацій напружено-деформований стан порід покращується, області високих напружень переміщуються до віддалених частин масиву, де вони поглинаються без значних наслідків для стійкості виробки.

У боках виробки при параметрі $a/b = 1,4$ напруження знижуються на 2,0 МПа, тоді як в інших випадках відбувається їх незначне збільшення, пов'язане з більш рівномірним перерозподілом.

Більш детально проведена порівняльна оцінка максимальних головних напружень в масиві для кругової та асиметричної еліпсоподібної ($a/b = 1,2$) форм зон зміцнення. Встановлено, що зміна контуру зони зміцнення тягне за собою ефект згладжування напружень по всіх напрямках. При стандартній круговій формі зони зміцнення спостерігається інтенсивна хвилеподібна зміна напружень. Це пов'язано з тим, що породи при переході в пластичний стан

розвантажуються, внаслідок чого відбуваються розшарування і хвиля опорного тиску переміщується вглиб масиву. При використанні еліпсоподібної зони зміцнення напруження більш згладжені і породи більшою мірою самі сприймають навантаження. Тому така конфігурація зміцненої зони є кращою.

В результаті моделювання було встановлено, що зміна форми зміцненої зони призводить до перерозподілу поля напружень і деформацій, при цьому опорний тиск дещо зміщується у бік від вертикальної осі виробки (рис. 4). Площа зони непружних деформацій за рахунок зміни форми зміцненої зони знижується до 35 %. В результаті чого зміцнення покрівлі виробки знижуються на 6–13 %, а підшви до 25 %. Для умов нерівномірних навантажень на кріплення заглиблених споруд асиметрична форма укріпленої зони може бути використана як резерв підвищення стійкості. Еліпсоподібна форма зміцненої зони, як елемент управління гірським тиском, забезпечує підвищення стійкості підземної споруди за рахунок зменшення на 10–35 % зони непружних деформацій та зміцнення вглиб на 0,5–3 м асиметричної зони опорного тиску. При цьому стійкість підземної споруди може бути підвищена більш ніж на 30 % у разі застосування способів зміцнення, які відповідають навантаженням, що діють у породах.

Зони зміцнення у вигляді еліпсоподібних або асиметричних форм сприяють тому, щоб напруження перерозподілялися рівномірно і не створювали локальних максимумів поблизу контуру виробки. Завдяки цьому знижується ризик руйнувань, який викликаний концентрацією напружень у локальних зонах, прилеглих до кутів і сполучень заглиблених споруд. Наприклад, еліпсоподібні зони зміцнення

сприяють ефективному переміщенню області високих напружень у більш віддалені частини масиву, де їх енергія поглинається без значних наслідків для стійкості виробки.

Висновки

1. Зміцнення порід за рахунок ін'єкційних та інших технологій зміцнення компенсує недоліки стандартного кріплення без значного збільшення капітальних витрат. Застосування різних конфігурацій і схем розташування зон зміцнення дозволяє гнучко адаптуватися до конкретних гірничо-геологічних умов, перерозподіляти напруження в породах, знижувати їх концентрації в потенційно небезпечних зонах, запобігати локальним обваленням і деформаціям, а також забезпечувати довготривале безпечне використання підземних споруд.

2. Вперше для підвищенні рівня безпеки експлуатації підземних виробок та заглиблених споруд в умовах асиметричних навантажень на кріплення встановлені закономірності змін максимальних головних напружень при використанні різних еліпсоподібних форм зон ін'єкційного зміцнення порід.

3. Встановлено, що для умов нерівномірних навантажень на кріплення асиметрична форма зміцненої зони може бути використана як резерв підвищення стійкості підземної споруди. Еліпсоподібна форма зміцненої зони, як елемент управління гірським тиском, забезпечує підвищення стійкості підземної споруди за рахунок зменшення на 10–35 % зони непружних деформацій та зміцнення вглиб на 0,5–3,0 м асиметричної зони опорного тиску. При еліпсоподібній зоні зміцнення зміцнення покрівлі виробки знижуються на 6–13 % від загальних зміщень, а підшви – на 7–23 %.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Zhihang Ye., Kevin G., Halil S., Gang W., De-Cheng F. State-of-the-art review and investigation of structural stability in multi-story modular buildings. *Journal of Building Engineering*. 2021. Vol. 33. P. 101844.

2. Krukovskiy O., Krukovska V., Bulich Y., Demchenko S., Konstantynova I. Rock bolt and frame support of mine workings with a compound cross-section: Collective refuge chambers for mine workers. *Mining of Mineral Deposits*. 2024. Vol. 18. Pp. 28–37.
3. Amanzholov D., Bakhranov B., Bakytbek A. Rock exfoliation in the unstable formations during underground mine working driving and selection of efficient adhesive compositions for strengthening. *Mining of Mineral Deposits*. 2024. Vol. 18. Pp. 104–113.
4. Slashchova O. Water effect on the rocks and mine roadways stability. *E3S Web of Conferences*. 2019. Vol. 109. P. 00092.
5. Slashchov I. M., Slashchova O. A., Seleznov A. M., Shmyhlov V. V., Kryvenko Ye. V., Brizheniuk V. S. Justification of the parameters of injection rock hardening zones around mining workings and buried structures of critical infrastructure. *Geo-Technical Mechanics*. 2024. № 170. Pp. 165–180.
6. Беліков А. С., Слащова О. А., Когтева О. П., Яланський О. А. Особливості визначення ризиків і контролю втрати стійкості підземних виробок в умовах мінливості властивостей гірських порід. *Український журнал будівництва та архітектури*. 2023. № 5 (017). С. 44–54.
7. Serinaldi F., Kilsby C. G. Understanding Persistence to Avoid Underestimation of Collective Flood Risk. *Water*. 2016. № 8 (4). P. 152.
8. Yalanskyi O. A., Bielikov A. S., Barabanov S. S., Slashchova O. A. and Ikonnikov M. Yu. Identification of geomechanical and geotechnical structures using the vibroacoustic method for automated stability monitoring systems of ground buildings and mine workings. *Journal of Donetsk Mining Institute*. 2023. № 2 (53). Pp. 101–109.
9. Беліков А. С., Яланський О. А., Барабанов С. С., Слащова О. А., Іконніков М. Ю. Розробка моделей складних коливань для систем автоматизації віброакустичного контролю безпеки експлуатації будівель і споруд. *Український журнал будівництва та архітектури*. 2024. № 3 (021). С. 7–18.
10. Булат А. Ф., Слащов І. М., Слащова О. А. Методи оцінки взаємопов'язаних геомеханічних та газодинамічних процесів у гірському масиві для систем контролю робочого середовища шахт. *Геотехнічна механіка*. 2017. № 134. С. 3–21.
11. Slashchov A., Yalanskyi O., Slashchov I., Siromaschenko I. Development of methods and software algorithms for state forecast of the ultimate stressed rock massif. *IOP Conf. Series : Earth and Environmental Science*. 2022. Vol. 970. P. 012010.
12. Булат А. Ф., Слащова О. А., Слащов І. М., Стаднійчук М. М. Обґрунтування методів контролю геомеханічної безпеки на гірничих підприємствах. *Геотехнічна механіка*. 2020. № 150. С. 176–187.
13. ДСТУ Б В.2.7-170:2008. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення середньої густини, вологості, водопоглинання, пористості і водонепроникності. [Чинний з 2009-07-01]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. 5 с.
14. Zienkiewicz O. C., Taylor R. L. *Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals*. Butterworth-Heinemann. 2013. 7th ed. 756 p. ISBN 008095135X.
15. Усаченко Б. М. Властивості порід та стійкість гірничих виробок. Київ : Наукова думка, 1979. 136 с.

REFERENCES

1. Zhihang Ye., Kevin G., Halil S., Gang W. and De-Cheng F. State-of-the-art review and investigation of structural stability in multi-story modular buildings, *Journal of Building Engineering*. 2021, vol. 33, p. 101844. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101844>
2. Krukovskiy O., Krukovska V., Bulich Y., Demchenko S. and Konstantynova I. Rock bolt and frame support of mine workings with a compound cross-section: Collective refuge chambers for mine workers. *Mining of Mineral Deposits*. 2024, vol. 18, pp. 28–37. URL: <https://doi.org/10.33271/mining18.02.028>
3. Amanzholov D., Bakhranov B. and Bakytbek A. Rock exfoliation in the unstable formations during underground mine working driving and selection of efficient adhesive compositions for strengthening. *Mining of Mineral Deposits*. 2024, vol. 18, pp. 104–113. URL: <https://doi.org/10.33271/mining18.03.104>
4. Slashchova O. Water effect on the rocks and mine roadways stability. *E3S Web of Conferences*. 2019, vol. 109, p. 00092. URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910900092>
5. Slashchov I.M., Slashchova O.A., Seleznov A.M., Shmyhlov V.V., Kryvenko Ye.V. and Brizheniuk V.S. Justification of the parameters of injection rock hardening zones around mining workings and buried structures of critical infrastructure. *Geo-Technical Mechanics*. 2024, no. 170, pp. 165–180. URL: <https://doi.org/10.15407/geotm2024.170.165>
6. Bielikov A.S., Slashchova O.A., Kohtieva O.P. and Yalanskyi O.A. *Osoblyvosti vyznachennya ryzykiv i kontrolyu vtraty stiykosti pidzemnykh vyrobok v umovakh minlyvosti vlastyvostey hirs'kykh porid* [Features of risk determination and control of the underground facilities stability loss under conditions of rocks properties variation]. *Ukrayins'kyy zhurnal budivnytstva ta arkhitektury* [Ukrainian Journal of Civil Engineering and

Architecture]. 2023, no. 5 (017), pp. 44–54. URL: <https://doi.org/10.30838/J.BPSACEA.2312.241023.44.992> (in Ukrainian).

7. Serinaldi F. and Kilsby C.G. Understanding Persistence to Avoid Underestimation of Collective Flood Risk. *Water*. 2016, no. 8 (4), p. 152. URL: <https://doi.org/10.3390/w8040152>

8. Yalanskyi O.A., Bielikov A.S., Barabanov S.S., Slashchova O.A. and Ikonnikov M.Yu. Identification of geomechanical and geotechnical structures using the vibroacoustic method for automated stability monitoring systems of ground buildings and mine workings. *Journal of Donetsk Mining Institute*. 2023, no. 2 (53), pp. 101–109. URL: <https://doi.org/10.31474/1999-981X-2023-2-101-109>

9. Bielikov A.S., Yalanskyi O.A., Barabanov S.S., Slashchova O.A. and Ikonnikov M.Yu. *Rozrobka modeley skladnykh kolyvan' dlya system avtomatyzatsiyi vibroakustychnoho kontrolyu bezpeky ekspluatatsiyi budivel' i sporud* [Development of models complex oscillations for automation systems of vibroacoustic operational safety control of buildings and structures]. *Ukrayins'kyi zhurnal budivnytstva ta arkhitektury* [Ukrainian Journal of Civil Engineering and Architecture]. 2024, no. 3 (021), pp. 7–18. URL: <https://doi.org/10.30838/J.BPSACEA.2312.040624.7.1055> (in Ukrainian).

10. Bulat A.F., Slashchov I.N. and Slashchova O.A. *Metody otsinky vzayemopov'yazanykh heomekhanichnykh ta hazodynamichnykh protsesiv u hirs'komu masyvi dlya system kontrolyu robochoho seredovyscha shakht* [Evaluation methods of interconnected geomechanical and gas dynamic processes in the rock massif for the systems of working medium control in the mines]. *Heotekhnichna mekhanika* [Geo-Technical Mechanics]. 2017, no. 134, pp. 3–21. URL: <https://doi.org/10.15407/geotm2017.134.003> (in Ukrainian).

11. Slashchov A., Yalanskyi O., Slashchov I. and Siromaschenko I. Development of methods and software algorithms for state forecast of the ultimate stressed rock massif. *IOP Conf. Series : Earth and Environmental Science*. 2022, vol. 970, p. 012010. URL: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/970/1/012010>

12. Bulat A.F., Slashchova O.A., Slashchov I.M. and Stadnychuk M.M. *Obgruntuvannya metodiv kontrolyu heomekhanichnoyi bezpeky na hirnychykh pidpryyemstvakh* [Substantiation of methods of geomechanical safety control in the mining enterprises]. *Heotekhnichna mekhanika* [Geo-Technical Mechanics]. 2020, no. 150, pp. 176–187. URL: <https://doi.org/10.15407/geotm2020.150.176> (in Ukrainian).

13. *DSTU B V.2.7-170:2008. Budivel'ni materialy. Betony. Metody vyznachennya seredn'oyi hustyny, volohosti, vodopohlynannya, porystosti i vodonepronyknosti. Chynnyy z 2009-07-01* [DSTU B V.2.7-170:2008. Building Materials. Concretes. Methods for Determining Average Density, Humidity, Water Absorption, Porosity and Water Resistance. National standard of Ukraine]. Kyiv : Ministry of Regional Development and Construction of Ukraine, 2008. URL: https://dnaop.com/html/43938/doc-ДСТУ_Б_В.2.7-170 (in Ukrainian).

14. Zienkiewicz O.C. and Taylor R.L. *Finite Element Method : Its Basis and Fundamentals*. Butterworth-Heinemann. 2013, 7th ed., 756 p. ISBN 008095135X.

15. Usachenko B.M. *Vlasyvosti porid ta stiykist' hirnychykh vyrobok* [Properties of rocks and stability of mine workings]. Kyiv : Sci. Thought, 1979, 136 p. (in Ukrainian).

Надійшла до редакції: 10.12.2025.

УДК 711.58:728.2:316.6

DOI: 10.30838/UJCEA.2312.250226.133.1217

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ВНУТРІШНІХ ДВОРІВ БАГАТОКВАРТИРНОЇ ЖИТЛОВОЇ ЗАБУДОВИ НА ОСНОВІ ПОВЕДІНКОВО-ПРОСТОРОВИХ ПОКАЗНИКІВ

СМАДИЧ І. П., канд. арх., доц.,

Кафедра архітектури і дизайну, Інститут архітектури та будівництва «ІФНТУНГ-ДонНАБА», Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, вул. Карпатська, 15, 76019, Івано-Франківськ, Україна, тел. +38 (067) 466-77-46, e-mail: Ivan.Smadych@nung.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-7964-5730

Анотація. Дане дослідження присвячене пошуку методів оцінки ефективності функціонування внутрішньодворових територій житлової забудови, як соціопросторових систем. *Актуальність теми* зумовлена зростаючою роллю дворів у формуванні якісного міського середовища, підтриманні соціальної взаємодії мешканців, безпеки, комфортності та доступності житлового простору. Водночас, відсутність стандартизованих інструментів для кількісної оцінки активності таких просторів ускладнює прийняття обґрунтованих архітектурно-планувальних рішень на етапі реконструкції або нового проектування. *Метою дослідження* є формування комплексного підходу до аналізу соціопросторової активності внутрішньодворових територій, що дозволяє кількісно оцінювати їхню функціональну ефективність на основі поведінкових параметрів. Науковою основою даної студії є адаптація біологічного принципу «ефекту межі» (edge effect) для архітектурного планування, де найбільша життєва активність спостерігається на межах різних просторових середовищ (фасад – двір, вхід – вулиця, дім – озеленення). Проаналізувавши соціальне різноміття та типологію процесів, що відбуваються на внутрішньодворових територіях, розроблено комплексний індекс САД (ступінь активності двору), який інтегрує чотири кількісні показники:

- інтенсивність використання території (ІВ) – частка людей у певній зоні двору;
- поверхнева активність (ПА) – зосередження активних функцій на одиницю площі;
- темпоральна щільність (ТЩ) – частка часу активного використання зони;
- типи поведінки (ТП) – різноманітність поведінкових сценаріїв.

Результатом дослідження є математично формалізований підхід до аналізу соціопросторової активності внутрішніх дворів багатоквартирної житлової забудови з чіткою градацією рівнів активності (від неактивних зон $<0,25$ до активних меж $>0,75$). Апробація розробленої методики проведена на прикладі житлового двору у м. Івано-Франківськ. У межах дослідження здійснено просторово-поведінкове картування, фіксацію сценаріїв використання території протягом доби, аналіз функціонального насичення та типів активності користувачів.

Розрахунок індексу САД для різних зон дозволив виявити як ділянки з високим рівнем соціальної динаміки, так і зони з просторовою інертністю. На основі отриманих даних були сформовані конкретні проектні висновки та рекомендації щодо підвищення ефективності функціонування внутрішньодворового простору шляхом архітектурних інтервенцій. Апробація теоретичних підсумків дослідження підтвердила її застосованість у практичному архітектурному аналізі та проектуванні, а також продемонструвала потенціал кількісного підходу до формування середовища, орієнтованого на потреби мешканців, що дає змогу об'єктивно оцінити функціональну ефективність дворових просторів, ідентифікувати проблемні зони з низькою просторовою активністю, визначити пріоритети для цільових архітектурних інтервенцій, надати архітекторам кількісну основу для прийняття проектних рішень. Цінність отриманих результатів зумовлено можливостями адаптації методики до різних контекстів житлової забудови та застосований як у практиці ревіталізації наявних дворів, так і на стадії проектування нових житлових комплексів.

Ключові слова: внутрішній двір; активність внутрішньодворового простору; межові зони двору; архітектурна поведінка; індекс САД; багатоквартирна житлова забудова; соціопросторові систем

ASSESSMENT OF THE FUNCTIONAL EFFICIENCY OF INNER COURTYARDS IN MULTI-APARTMENT RESIDENTIAL DEVELOPMENT BASED ON BEHAVIORAL-SPATIAL INDICATORS

SMADYCH I.P., *PhD in Architecture, Assoc. Prof.*

Department of Architecture and Design, Institute of Architecture and Construction "IFNTUOG-DonNABA", Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, 15, Karpatska Str., Ivano-Frankivsk, 76019, Ukraine, tel. +38 (067) 466-77-46, e-mail: Ivan.Smadych@nung.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-7964-5730

Abstract. This study is devoted to the search for methods of assessing the functional efficiency of inner courtyards in residential developments as socio-spatial systems. The relevance of the topic is determined by the growing role of courtyards in shaping a high-quality urban environment, supporting residents' social interaction, safety, comfort, and accessibility of living spaces. At the same time, the lack of standardized tools for the quantitative assessment of activity within such spaces complicates the adoption of well-grounded architectural and planning decisions during reconstruction or new design. *The purpose of the study* is to develop a comprehensive approach to analyzing the socio-spatial activity of inner courtyards, which allows for a quantitative evaluation of their functional efficiency based on behavioral parameters. The scientific foundation of this research lies in the adaptation of the biological principle of the "edge effect" for architectural planning, where the highest level of activity is observed at the boundaries between different spatial environments (façade – courtyard, entrance – street, house – greenery). By analyzing the social diversity and typology of processes occurring in inner courtyards, a comprehensive *index SAD* (Courtyard Activity Degree) was developed, integrating four quantitative indicators:

- *Intensity of Use (IU)* — the proportion of people in a specific courtyard zone;
- *Surface Activity (SA)* — concentration of active functions per unit area;
- *Temporal Density (TD)* — proportion of time during which a zone is actively used;
- *Types of Behavior (TB)* — diversity of behavioral scenarios.

The result of the study is a mathematically formalized approach to analyzing the socio-spatial activity of inner courtyards in multi-apartment residential complexes with a clear gradation of activity levels (from inactive zones $<0,25$ to active edges $>0,75$). The developed methodology was tested using the example of a residential courtyard in Ivano-Frankivsk. Within the study, spatial-behavioral mapping was carried out, along with the documentation of usage scenarios throughout the day, analysis of functional saturation, and classification of user activity types. The calculation of the SAD index for different zones revealed areas with high levels of social dynamics as well as zones of spatial inertia. Based on the obtained data, specific design conclusions and recommendations were formulated to improve the efficiency of courtyard functioning through architectural interventions. The testing of theoretical conclusions confirmed the applicability of the methodology in practical architectural analysis and design, as well as demonstrated the potential of a quantitative approach to shaping resident-oriented environments. This makes it possible to objectively assess the functional efficiency of courtyard spaces, identify problem areas with low spatial activity, determine priorities for targeted architectural interventions, and provide architects with a quantitative basis for decision-making. The value of the obtained results lies in the adaptability of the methodology to different contexts of residential development and its applicability both in the revitalization of existing courtyards and at the design stage of new residential complexes.

Keywords: *inner courtyard; courtyard space activity; courtyard edge zones; architectural behavior; SAD index; multi-apartment residential development; socio-spatial systems*

Постановка проблеми. Сучасне житлове середовище все частіше проектується із врахуванням людських сценаріїв поведінки, але *внутрішні двори* залишаються недооціненими у просторі спілкування, відпочинку й спостереження. Внутрішньодворові території житлової забудови відіграють ключову роль у формуванні комфортного міського середовища та якості життя мешканців. Однак традиційні підходи до їх проектування часто базуються на функціонально-планувальних оцінках та не враховують реальну динаміку користування простором. Це призводить до створення неефективних або малоактивних дворових територій, які не виконують своєї соціальної функції.

У контексті сучасних викликів урбанізації та ущільнення міської забудови

особливої актуальності набуває питання оптимізації використання обмежених просторових ресурсів. Внутрішні двори, як проміжні простори між приватним та громадськими середовищем, мають потенціал перетворення на активні центри соціальної взаємодії, при умові оновлення методи їх аналізу та проектування.

Існуючі методики оцінки якості житлового середовища переважно зосереджуються на технічних та санітарно-гігієнічних показниках, залишаючи поза увагою поведінкові аспекти використання простору. Відсутність комплексного підходу до аналізу соціопросторової активності внутрішніх дворів створює прогалину між теоретичними принципами архітектурного проектування та реальними потребами мешканців.

Метою даного дослідження є сформулювати методику оцінки ефективності функціонування внутрішньодворових територій житлової забудови на основі комплексного аналізу поведінково-просторових показників її жителів.

Завдання дослідження:

- проаналізувати поведінкові характеристики населення на внутрішньодворових територіях багатоквартирних житлових будинків;
- запропонувати комплексний індекс САД (ступінь активності двору) на основі кількісних показників інтенсивності використання, поверхневої активності, темпоральної щільності та типів поведінки;
- перевірити практичний алгоритм застосування запропонованого індексу для аналізу конкретних дворових просторів;
- виділити шкалу оцінки рівнів просторової активності з відповідними рекомендаціями для архітектурних інтервенцій;
- сформулювати принципи використання розробленої методики в архітектурному проектуванні та при модернізації житлових дворів міст України.

Концептуальні засади дослідження та джерельна база.

Теоретичні засади дослідження базуються на міждисциплінарному підході, що поєднує принципи екологічної архітектури, поведінкової географії, соціології простору та урбаністики. В основі підходу розширення функціональної атрактивності житлових дворів лежить біологічний *ефект межі (edge effect)* – принцип, за яким на межах двох середовищ спостерігається *найбільша життєва активність*. В контексті архітектури межами середовищ можуть виступати фасад – двір, вхід – вулиця, дім – озеленення. При правильній функціонально-розпланувальній організації саме ці зони можуть стати активними ядрами взаємодії мешканців.

Концепція «ефекту межі» була вперше описана в екології А. Леопольдом на початку ХХ ст. де вперше науково доведено, що біорізноманіття та активність організмів максимальне на межі різних екосистем [1].

Ян Гейл (Jan Gehl) у роботах «Life Between Buildings» (2011) та «Cities for People» (2010) розвинув теорію «проміжних просторів» та їх ролі у формуванні соціальної активності. Його дослідження поведінки людей у відкритих просторах стали класичними для архітектурно-планувальної практики [2–3].

Принципи даної теорії вказують на те, що внутрішні двори є межовим простором між приватним середовищем житлового будинку та громадським простором міста та першим публічним простором окресленої групи населення (мешканців житлової групи даного двору).

В сучасній теорії урбанізму широкою уваги набула концепція «*проміжних просторів*» (*in-between spaces*) [4–6]. Ці простори, до яких належать внутрішні двори, функціонують, як буферні зони між приватним та публічним середовищем, створюючи умови для спонтанної соціальної взаємодії. Сучасні дослідження показують, що ступінь проникності та конфігурація проміжних просторів безпосередньо впливає на соціальні практики користувачів та їх соціоемоційний стан. Дану теорію розвивають Елізабет Біксон (Elizabeth Bixson) [7] та Роберт Сівенс (Robert Sieverts) у своїх працях з архітектурної психології (1990–2000-ті) [8], де висвітлено вплив фізичного середовища на соціальну поведінку у житлових комплексах. Також теорія «*in-between spaces*» деконструє, що внутрішній двір є перехідною межею між приватним та громадським простором для окремої групи населення (жителів довколишньої забудови).

Дослідження, що присвячені соціокультурним та місобосистісним зв'язкам у просторі міста вказують на потребу введення цілої низки нових показників, які б дозволяли проаналізувати всю множину різноманітної взаємодії людей в процесі перебування в просторі. Прикладом таких пошуків є дослідження «*A Study on the Spatial Perception and Inclusive Characteristics of Outdoor Activity Spaces in Residential Areas for Diverse Populations from the Perspective of All-Age Friendly Design*» Лі Ванга (Lijun Wang) [9], де інноваційно

інтегровано eye-tracking та мультимодальні фізіологічні технології моніторингу для збору як суб'єктивних, так і об'єктивних даних про сприйняття дворкових просторів різними віковими групами. Даним питанням також активно займаються архітектори Дж. Корі, Р. Колхас, MVRDV, які досліджують досліджують інтенсивне використання обмежених просторів через інноваційні підходи до організації дворкових територій та сценарії поведінки [10]. Результати дослідження вказують, що внутрішні двори, є специфічними архітектурні елементи, де формуються унікальні умови для розвитку соціальних зв'язків та громадської активності. Дані дослідження демонструють, що просторове сприйняття та інклюзивні характеристики дворкових просторів значно впливають на якість життя різних вікових груп. Аналіз праці «Novel insights into rural spatial design: A bio-behavioral study employing eye-tracking and electrocardiography measures» Мінг Ші (Ming Shi) підтверджує тезу про те, що житловий двір є базовою одиницею сільського простору, в урбанізованому середовищі, де зосереджені місцеві особливості та культурні традиції його користувачів.

Серед вітчизняних науковців, концепція «людноцентричної архітектури» з акцентом на соціальні аспекти організації житлових дворів висвітлені в працях М. В. Морозов, Б. Черкеса, С. І. Коник, М. М. Габреля, Н. Ватаманюк, Н. В. Антоненко та інших.

Іншу віху досліджень становлять роботи, де висвітлено поведінкову та психологічну складову соціуму в житловому середовищі. М. Пархомчук у своїй роботі «Вплив середовища та архітектури на ментальне здоров'я людей» (2024) досліджує взаємозв'язок між архітектурним середовищем та поведінковими практиками мешканців. Також в працях Гнатюк О., Тімохіна В., Соснової Н. проводяться дослідження пошуку шляхів підвищення безпеки прибудинкових просторів та гармонізації середовища в умовах нових викликів міст.

Методика оцінки ефективності дворкових територій. У рамках дослідження ефективності функціонування внутрішніх дворів багатоквартирної житлової забудови було розроблено методику, що базується на аналізі поведінково-просторових показників (рис. 1).



Рис. 1. Елементи соціальної активності в міському просторі

Аналіз множини елементів впливу на населення у публічному середовищі демонструє, що якісні соціально активні публічні простори, повинні забезпечувати 4 групи можливостей: комунікація, діяльність, вільний доступ, комфорт та враження структурований за чотирма ключовими компонентами: *комунікації, відвідувачі та діяльність, доступ, комфорт та враження.*

Дані поведінкові моделі мешканців структуровано за 4 показниками.

Інтенсивність використання (ІВ) вимірюється кількістю відвідувачів, які перебувають у визначеній зоні двору порівняно з загальною кількістю осіб на території.

Показник:

$$ІВ = N_m / N_o, \quad (1)$$

де N_m – кількість людей в конкретній зоні двору (осіб); N_o – загальна кількість людей на всій ділянці (осіб).

Методи вимірювання даних показників:

- фіксування присутності людей за допомогою фото- відео фіксації або візуального спостереження;

- проведення натурного спостереження в певні часові проміжки протягом доби (наприклад, 3 рази на день по 20 хвилин) з фіксацією кількості людей в кожній зоні житлового двору.

Показник поверхневої активності (ПА) демонструє зосередження активних функцій на конкретних ділянках дворових територій (як у горизонтальному, так і у вертикальному аспектах), на відміну від пасивних чи заблюбованих фрагментів території.

Показник:

$$ПА = F / A, \quad (2)$$

де F – кількість елементів активності в конкретній зоні двору (фізичних або поведінкових); A – площа зони (m^2).

Методи вимірювання даних показників:

- створення схеми функціонального зонування двору з нанесеними функціями: сидіння, сходи, озеленення, реклама тощо.

Темпоральна щільність (ТЩ) – оцінка кількості людей на одиницю площі в різні проміжки доби (ранок, день, вечір), що дозволяє фіксувати пікові періоди активності в окремих зонах двору.

Показник:

$$ТЩ = (\sum t_p / T) \times 100\%, \quad (3)$$

де t_p – загальний час присутності людей у зоні протягом дня; T – загальна тривалість спостереження (наприклад, 12 годин).

Методи вимірювання:

- Проведення хронометражу наявності людей на території окремих зон двору багатоквартирного житлового будинку.

Типи поведінки (ТП) – класифікація поведінки за тривалістю, характером активності та формами присутності (статична, динамічна, тимчасова, постійна, ситуативна).

Показник:

$$ТП = N_{ТП} / ТП_{(max)}, \quad (4)$$

де $ТП$ – нормалізоване значення $ТП$ (від 0 до 1); $N_{ТП}$ – кількість різних типів дій;

$ТП_{(max)}$ – теоретично максимальна кількість типів дій (наприклад 10).

Методика аналізу поведінково-соціальної активності внутрішньодворових територій передбачає комплексний аналіз двору, виділення проблемних зон та формування рекомендацій щодо їх покращення.

Для цього сформована узагальнена матриця *оцінки активності двору*, яка поєднує показники активності різних зон двору в єдину системну формулу — для визначення ступеня активності двору (САД). Даний індекс дозволяє визначити, де і скільки активності потрібно додати в конкретних зонах (вхідна, зона активного відпочинку, зона пасивного відпочинку, господарська зона тощо).

На основі даного аналізу дворова територія розглядається не лише як просторовий фрагмент забудови, а як *динамічний соціальний осередок*, де переплітаються інтереси різних вікових, соціальних та поведінкових груп.

Методика дозволяє зіставити рівень функціональної насиченості та адаптивності простору до потреб користувачів, що, у свою чергу, слугує основою для подальших рішень щодо її покращення.

Використання візуальної моделі поведінково-просторової взаємодії дозволяє об'єктивно оцінити ефективність внутрішніх дворів за спектром критеріїв, які охоплюють *просторові, соціальні, перцептивні та часові* характеристики (табл. 1).

Всі показники нормалізуються до діапазону від 0 до 1. У відповідності до цього індекс САД розраховується за формулою:

$$САД = w_1 \cdot ІВ + w_2 \cdot ПА + w_3 \cdot ТЩ + w_4 \cdot ТП, \quad (5)$$

де w_1-w_4 – вагові коефіцієнти, які можуть варіюватися залежно від цілей дослідження. У базовому варіанті всі ваги рівнозначні або коригуються відповідно до контексту (наприклад, $w_1 = 0,3$; $w_2 = 0,2$; $w_3 = 0,3$; $w_4 = 0,2$).

Таблиця 1

Структурна модель індексу САД (ступінь активності двору)

Показник	Формула	Інтерпретація
Інтенсивність використання (ІВ)	N_m / N_o	Відношення людей, які перебувають у дворовому просторі до максимального рівня людей
Поверхнева активність (ПА)	F / A	Зосередження активних функцій (F) на 1 м ² території (A)
Темпоральна щільність (ТЩ)	$\sum t_p / T$	Частка часу, коли зона є активною
Типи поведінки (ТП)	$k_{ТП} / ТП (max)$	Кількість різних дій (сидіння, спостереження, ігри тощо)

Інтегрований розрахунок:

Експертна оцінка ваги кожного з чотирьох показників, що входять в структуру індексу САД проведена серед 5 експертів –

архітекторів м. Івано-Франківськ, що працюють в сфері благоустрою міського середовища (табл. 2).

Таблиця 2

Зведений вагові коефіцієнти показників індексу САД

Показник	Позначення	Вага впливу (w)	Пояснення
ІВ	w_1	0.3	Основний фактор – наявність людей
ПА	w_2	0.2	Функції підвищують активність
ТЩ	w_3	0.3	Тривалість присутності забезпечує сталість
ТП	w_4	0.2	Чим більше поведінкових сценаріїв тим вищі можливості активності

Результати оцінки індексу САД інтерпретуються за чотирирівневою шкалою, яка дозволяє класифікувати просторові межі за ступенем їхньої соціальної активності. Ця градація ґрунтується на кількісних даних, отриманих у результаті спостережень, опитувань або просторового моніторингу, та

дозволяє формувати стратегію трансформації межових просторів від найслабших до найбільш активних, визначати пріоритетні зони втручання та ефективно адаптувати їх до соціальних і ментальних потреб мешканців (табл. 3).

Таблиця 3

Шкала оцінки індексу САД

Значення САД	Інтерпретація	Загальні рекомендації
$> 0,75$	Активна зона	Підтримувати наявний стан та підсилити наявний дизайн
0,5–0,75	Потенційно активна	Слід додати освітлення, озеленення, зони сидіння чи інші елементи благоустрою
0,25–0,5	Фрагментарно-активна	Потреба репланування: підвищити функціональне різноманіття або відкрити візуальний доступ
$< 0,25$	Неактивна зона	Слід провести повну реконструкція або зміну функціонального призначення

Перевірка результатів дослідження.

Для практичного підтвердження ефективності запропонованої методики поведінково-просторової оцінки функціонування внутрішніх дворів було здійснено дослідницький аналіз проектної пропозиції дворової території житлового комплексу по вул. Чорновола, 123 у місті Івано-Франківськ. Об'єкт обрано з огляду на

його типовість для міського середовища: він включає кілька багатоповерхових житлових будинків, що формують спільне внутрішньодворове ядро з чітко окресленими межами, функціональним наповненням та зонами спільного користування.

Перед початком дослідження дворова територія була поділена на чотири основні функціональні зони (рис. 2):

- *Зона А* – вхідна група, яка охоплює простір перед під'їздами та транзитні ділянки з'єднання двору з вулицею;
- *Зона В* – центральна частина двору, що включає дитячий майданчик, пішохідні маршрути та невеликі зелені насадження;
- *Зона С* – зона пасивного відпочинку, представлена кількома лавками під деревами та частково огороженими зеленими ділянками;
- *Зона D* – господарська зона, до якої належать місця паркування автомобілів, сміттєві контейнери та допоміжні технічні елементи.



Рис. 2. Просторова структура і зонування внутрішнього двору по вул. Чорновола, 123 в м. Івано-Франківськ

Такий поділ відповідає типовій структурі внутрішніх дворів у пострадянських містах, де території часто виконують змішані

функції, але не завжди мають чітко виражене просторове зонування. Саме тому важливо оцінити якісні відмінності використання цих зон на основі чотирьох показників індексу САД.

Методика проведення спостережень і збір емпіричних даних

Протягом трьох днів (у будні та вихідний день) у три часові проміжки (08:00–08:20, 14:00–14:20 та 18:00–18:20) проводилось натурне спостереження за активністю мешканців у кожній із зон. Одночасно здійснювалось:

- візуальне картування кількості людей (для визначення інтенсивності використання),
- фотографування функціональних елементів (для оцінки поверхневої активності),
- хронометрування часу перебування людей в різних зонах (для виявлення темпоральної щільності),
- описування характеру поведінки (статичної, динамічної, ситуативної тощо) мешканців різного віку – для розрахунку індексу типів поведінки.

Аналіз і розрахунок індексу САД для кожної зони.

Зібрані дані були проаналізовані згідно з формулою інтегрального показника САД (Таблиця 4):

$$САД = 0,3 \cdot ІВ + 0,2 \cdot ПА + 0,3 \cdot ТЩ + 0,2 \cdot ТП$$

Результати розрахунків подано в таблиці 4.

Таблиця 4

Зведені показники розрахунку індексу САД для внутрішнього двору по вул. Довженка, 39 в м. Івано-Франківськ

Назва зони	ІВ	ПА	ТЩ	ТП	Індекс САД
А — вхідна зона	0,40	0,30	0,45	0,30	0,37
В — центральна частина	0,75	0,65	0,70	0,80	0,72
С — зона відпочинку	0,50	0,40	0,35	0,40	0,42
D — господарська зона	0,10	0,10	0,05	0,10	0,09

Інтерпретація результатів.

Центральна зона (В) виявилась найбільш активною та мультифункціональною. Спостерігалась значна присутність дітей, підлітків та батьків у вечірній час, різноманітні сценарії активності – гра,

спілкування, супровід дітей, спостереження. Наявність просторових магнітів (гірка, гойдалки, лавки, стежки) сприяла інтенсивному використанню території та високому індексу САД (0,72). Це свідчить

про потенціал зони як ядра соціальної взаємодії.

Вхідна зона (А) характеризується швидкоплинним характером використання. Люди затримуються коротко – під час виходу або повернення додому. Візуально зона не обладнана для тривалого перебування, не має лавок, захисту від сонця/дощу. Це пояснює її відносно низький рівень активності – САД дорівнює 0,37. Проте існує потенціал її активації через включення малих архітектурних форм.

Зона пасивного відпочинку (С) має середній рівень активності – її використовують переважно літні мешканці та батьки з немовлятами. Відсутність чітких меж, застаріле облаштування та низький візуальний комфорт знижують потенціал простору. Індекс САД – 0,42, що вказує на потребу у покращенні благоустрою (оновлення лавок, підсилення озеленення, створення напівтіньових зон тощо).

Господарська зона (D) має найнижчий рівень активності – 0,09. Вона використовується виключно для технічних потреб (стоянка, вивіз сміття). Функціональне навантаження обмежене, а перебування людей – випадкове й короткотривале. Незважаючи на її утилітарну роль, частина площі має потенціал для перетворення – наприклад, створення буферних озелених смуг, елементів велоінфраструктури, зон короткого перепочинку.

Рекомендації покращення просторової структури двору. На основі розрахунку індексу САД та його інтерпретації сформульовано наступні проектні висновки:

1. Підтримка й підсилення центральної зони (В) – з огляду на її роль у формуванні соціальної взаємодії та привабливості простору. Рекомендовано оновлення ігрового обладнання, встановлення освітлення, додавання озеленення та створення простору для неформальної гри.

2. Активація вхідної зони (А) – через встановлення лавок, навісів, елементів мистецтва або дошки оголошень. Це створить передумови для короткотермінових форм спілкування й затримки мешканців, що

підвищить соціальний потенціал межового простору.

3. Реконфігурація зони пасивного відпочинку (С) – завдяки впровадженню озеленення, комфортних меблів, водних елементів або просторових буферів для створення тихої атмосфери.

4. Мінімальне функціональне переосмислення господарської зони (D) – наприклад, винесення частини функцій у підземну інфраструктуру або адаптація меж зони для тимчасових активностей, без втрати технічної функціональності.

Висновки

У результаті проведеного дослідження було розроблено, апробовано та верифіковано комплексну методику оцінки ефективності функціонування внутрішньодворових територій багатоквартирної житлової забудови, що базується на поведінково-просторових показниках активності. Основою для формування індексу САД (ступінь активності двору) стали чотири ключові параметри: інтенсивність використання території, поверхнева активність, темпоральна щільність і типи поведінки користувачів.

Запропонована модель дозволяє подолати обмеження традиційних підходів до аналізу житлового середовища, які зазвичай фокусуються на санітарно-технічних чи нормативних параметрах, і перейти до глибшого розуміння простору як динамічної соціопросторової системи.

Аналіз на прикладі конкретного двору в місті Івано-Франківськ підтвердив аналітичну ефективність методики: на основі кількісних спостережень вдалося визначити зони різного рівня активності, виявити потенційно проблемні простори та сформулювати обґрунтовані архітектурно-планувальні рекомендації щодо їх поліпшення. Зокрема:

- центральна зона, яка вміщує дитячий майданчик, продемонструвала високу соціальну насиченість і стала осередком багатокомпонентної активності;

- вхідні та господарські зони, навпаки, мали низький індекс САД, що вказує на потребу їх трансформації для підвищення соціальної привабливості;

- зона пасивного відпочинку виявилась потенційно активною за умови покращення її благоустрою та комфорту.

Результати дослідження свідчать про високу гнучкість методики, її адаптивність до різних типів міської забудови, а також можливість використання в архітектурній практиці для:

- кількісного аналізу соціального життя у дворі;

- визначення пріоритетів благоустрою;

- розробки проектних рішень, орієнтованих на людину.

Крім того, запропонована шкала інтерпретації значень індексу САД дозволяє об'єктивізувати процес планування змін у середовищі – від підтримки вже активних зон до реконфігурації та перепланування неактивних територій.

Таким чином, розроблена методика може виступати дієвим інструментом для архітекторів, урбаністів і представників муніципалітетів у процесі переосмислення житлових дворів як платформ соціальної взаємодії, простору безпеки та ментального комфорту мешканців. Вона також відкриває перспективу для подальших досліджень у галузі архітектурної поведінки, інклюзивного дизайну та адаптивного середовища в контексті урбанізації та суспільних викликів сьогодення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Maffini A. L., Gonçalves G. M., Maraschin C., Gil J. Inequalities in the potential movement of social groups : a network-based indicator. *Environment and Planning B : Urban Analytics and City Science*. 2024. Vol. 51, № 4. Pp. 1024–1041. URL: <https://doi.org/10.1177/23998083241246375>
2. Gil J. Street network analysis «edge effects» : Examining the sensitivity of centrality measures to boundary conditions. *Environment and Planning B : Urban Analytics and City Science*. 2017. Vol. 44, № 5. Pp. 819–836. URL: <https://doi.org/10.1177/0265813516650678>
3. Feng C., Peponis J. Algorithmic definitions of street network centrality sub-shapes : The case of superblocks. *Environment and Planning B : Urban Analytics and City Science*. 2022. Vol. 49, № 9. Pp. 2451–2466. URL: <https://doi.org/10.1177/23998083221098739>
4. García Alcaraz M. The prospect of 'interstitial practice' in the in-between spaces of Caracas. *City, Territory and Architecture*. 2024. Vol. 11, № 1. Art. 21. URL: <https://doi.org/10.1186/s40410-024-00241-9>
5. Ostrowska A., Budner W. Re-thinking the role of urban in-between spaces : Catalyst for sustainable urban transformation. *Cities*. 2021. Vol. 113. Art. 103156. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2021.103156>
6. Loukaitou-Sideris A. Cracks in the city : Addressing the constraints and potentials of urban design. *Journal of Urban Design*. 1996. Vol. 1, № 1. Pp. 91–103. URL: <https://doi.org/10.1080/13574809608724371>
7. Santos-García A., Aseguinolaza Braga I. In-between spaces for today's city : Historical review for identifying their beneficial characteristics. *Frontiers of Architectural Research*. 2024. Vol. 13, № 4. Pp. 789–804. URL: <https://doi.org/10.1016/j.foar.2024.06.011>
8. Sieverts T. Zwischenstadt (In-Between City). In: Barcellona Cortes M., Viganò P. (Eds.). *The Horizontal Metropolis*. Springer, 2022. Pp. 359–368. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-56398-1_28
9. Yin B., Wang L., Xu Y., Heng K. C. A Study on the Spatial Perception and Inclusive Characteristics of Outdoor Activity Spaces in Residential Areas for Diverse Populations from the Perspective of All-Age Friendly Design. *Buildings*. 2025. Vol. 15, № 6. Art. 895. URL: <https://doi.org/10.3390/buildings15060895>
10. Shi M., Wang R., Zhang L. Novel insights into rural spatial design : a bio-behavioral study employing eye-tracking and electrocardiography measures. *PLOS ONE*. 2025. Vol. 20, № 5. Art. e0322301. URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0322301>

REFERENCES

1. Maffini A.L., Gonçalves G.M., Maraschin C. and Gil J. Inequalities in the potential movement of social groups: a network-based indicator. *Environment and Planning B : Urban Analytics and City Science*. 2024, vol. 51, no. 4, pp. 1024–1041. URL: <https://doi.org/10.1177/23998083241246375>
2. Gil J. Street network analysis “edge effects” : Examining the sensitivity of centrality measures to boundary conditions. *Environment and Planning B : Urban Analytics and City Science*. 2017, vol. 44, no. 5, pp. 819–836. URL: <https://doi.org/10.1177/0265813516650678>

3. Feng C. and Peponis J. Algorithmic definitions of street network centrality sub-shapes : the case of superblocks. *Environment and Planning B : Urban Analytics and City Science*. 2022, vol. 49, no. 9, pp. 2451–2466. URL: <https://doi.org/10.1177/23998083221098739>
4. García Alcaraz M. The prospect of 'interstitial practice' in the in-between spaces of Caracas. *City, Territory and Architecture*. 2024, vol. 11, no. 1, art. 21. URL: <https://doi.org/10.1186/s40410-024-00241-9>
5. Ostrowska A. and Budner W. Re-thinking the role of urban in-between spaces : Catalyst for sustainable urban transformation. *Cities*. 2021, vol. 113, art. 103156. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2021.103156>
6. Loukaitou-Sideris A. Cracks in the city : Addressing the constraints and potentials of urban design. *Journal of Urban Design*. 1996, vol. 1, no. 1, pp. 91–103. URL: <https://doi.org/10.1080/13574809608724371>
7. Santos-García A. and Aseguinolaza Braga I. In-between spaces for today's city : Historical review for identifying their beneficial characteristics. *Frontiers of Architectural Research*. 2024, vol. 13, no. 4, pp. 789–804. URL: <https://doi.org/10.1016/j.foar.2024.06.011>
8. Sieverts T. Zwischenstadt (In-Between City). In: Barcelloni Corte M., Viganò P. (Eds.). *The Horizontal Metropolis*. Springer, 2022, pp. 359–368. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-56398-1_28
9. Yin B., Wang L., Xu Y. and Heng K.C. A Study on the Spatial Perception and Inclusive Characteristics of Outdoor Activity Spaces in Residential Areas for Diverse Populations from the Perspective of All-Age Friendly Design. *Buildings*. 2025, vol. 15, no. 6, art. 895. URL: <https://doi.org/10.3390/buildings15060895>
10. Shi M., Wang R. and Zhang L. Novel insights into rural spatial design : a bio-behavioral study employing eye-tracking and electrocardiography measures. *PLOS ONE*. 2025, vol. 20, no. 5, art. e0322301. URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0322301>

Надійшла до редакції: 31.11.2025.

УДК 331.4:614.8+004.4

DOI: 10.30838/UJCEA.2312.250226.143.1218

ІНСТРУМЕНТАРІЙ ДЛЯ ПЛАНУВАННЯ НАЛЕЖНИХ УМОВ ПРАЦІ В ПРИМІЩЕННЯХ З ЕЛЕКТРОННО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНИМИ МАШИНАМИ

СОКОЛАН Ю. С., канд. техн. наук, доц.

Кафедра будівництва та цивільної безпеки, Хмельницький національний університет, вул. Інститутська, 11, 29000, Хмельницький, Україна, тел. +38 (0382) 670-276, e-mail: sokolan.julia@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-0273-5719

Анотація. Постановка проблеми. При облаштуванні приміщень, в яких працівники використовують ЕОМ та інші види візуально-дисплейних терміналів необхідно забезпечити належні умови праці з метою зменшення негативного впливу електронно-обчислювальних машин на здоров'я працівників, тобто мінімізувати можливість виникнення в них професійних захворювань. Використання спеціалізованого програмного забезпечення з метою вирішення питань забезпечення належних умов праці може значно пришвидшити процес оцінки умов праці на робочому місці, а також спростити підходи до системи управління охороною праці. Актуальності набуває задача створення відповідного програмного забезпечення для проєктування приміщень з ЕОМ із забезпеченням належних умов праці відповідно до чинного законодавства та нормативно-правових актів з охорони праці. **Мета статті** – розробка спеціалізованого програмного забезпечення для проєктування приміщень з ЕОМ відповідно до норм чинного законодавства та із забезпеченням належних умов праці для працівників, які використовують ВДТ ЕОМ. **Висновки.** Розроблена програма представляє собою інструментарій для проєктування приміщень з ЕОМ відповідно до вимог чинного законодавства з охорони праці. В програмі наявний функціонал для розрахунку розміру одного робочого місця із дотриманням регламентованих мінімальних площі та об'єму на одного працівника. Також за допомогою програми «Охорона праці в офісі» можна виконати розрахунок загальної кількості робочих місць в приміщенні. Програму можна використовувати для проведення розрахунку загального штучного рівномірного освітлення на горизонтальних робочих поверхнях. Розрахунок освітлення виконаний у відповідності до ДБН В.2.5:28-2018 *Природне і штучне освітлення* та дає можливість не лише провести проєктування системи освітлення, а також можна виконати перевірку наявного освітлення у вже існуючому приміщенні.

Ключові слова: проєктування робочого місця; робота з електронно-обчислювальними машинами; взаємне розташування робочих місць; належні умови праці; розрахунок штучного освітлення; коефіцієнт використання світлового потоку; візуально-дисплейний термінал

INSTRUMENT FOR PLANNING PROPER WORKING CONDITIONS IN PREMISES WITH ELECTRONIC COMPUTING MACHINES

SOKOLAN Yu.S., *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*

Department of Construction and Occupational Safety, Khmelnytskyi National University, 11, Intyutaska St., Khmelnytskyi, 29000, Ukraine, tel. +38 (0382) 670-276, e-mail: sokolan.julia@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-0273-5719

Abstract. Problem statement. When arranging the premises where employees use computers and other types of visual display terminals, it is necessary to ensure proper working conditions in order to reduce the negative impact of computers on employees' health, i. e. to minimize the possibility of occupational diseases. The use of specialized software to address the issues of ensuring proper working conditions can significantly speed up the process of assessing working conditions in the workplace, as well as simplify approaches to the occupational health and safety management system. The task of creating appropriate software for the design of computer rooms to ensure proper working conditions in accordance with current legislation and regulations on occupational safety and health is becoming increasingly important. **The purpose of the article** is development of specialized software for designing premises with computers in accordance with current legislation and ensuring proper working conditions for employees using VDT computers. **Conclusions.** The developed program is a tool for designing computer rooms in accordance with the requirements of current labor protection legislation. The program has the functionality to calculate the size of one workplace in compliance with the regulated minimum area and volume per employee. Also, with the help of the program "Occupational Health and Safety in the Office", you can calculate the total number of workplaces in the premises. The program can be used to calculate the total artificial uniform lighting on horizontal work surfaces. The calculation of lighting is made in accordance with DBN

B.2.5:28-2018 Natural and artificial lighting and makes it possible not only to design a lighting system, but also to check the existing lighting in an existing room.

Keywords: *workplace design; work with electronic computing machines; relative location of workplaces; proper working conditions; calculation of artificial illumination; light flux utilization factor; visual display terminal*

Постановка проблеми. З розвитком програмного забезпечення та комп'ютерної техніки в загальному в Україні значно збільшилась кількість працівників, які в процесі виконання своїх трудових обов'язків використовують електронно-обчислювальні машини (ЕОМ). Так, у 2025 році кількість фізичних осіб підприємців, які зайняті в сфері інформаційних технологій, становила 248 тис. осіб [1].

Крім того, в процесі роботи велика кількість представників інших професій також використовують персональні комп'ютери (ПК) та ноутбуки. До таких працівників відносяться бухгалтери, дизайнери, архітектори, тощо.

При облаштуванні приміщень, в яких працівники використовують ЕОМ та інші види візуально-дисплейних терміналів (ВДТ) необхідно забезпечити належні умови праці з метою зменшення негативного впливу ЕОМ на здоров'я працівників, тобто мінімізувати можливість виникнення в них професійних захворювань.

Використання спеціалізованого програмного забезпечення з метою вирішення питань забезпечення належних умов праці може значно пришвидшити процес оцінки умов праці на робочому місці, а також спростити підходи до системи управління охороною праці.

Нажаль, наявна дуже незначна кількість програмного забезпечення, яке може використовуватись в сфері охорони праці. Таким чином, актуальності набуває задача створення відповідного програмного забезпечення для проектування приміщень з ЕОМ із забезпеченням належних умов праці відповідно до чинного законодавства та нормативно-правових актів з охорони праці.

Аналіз публікацій. В роботі [2] розглядалась наявність та функціональні можливості програмного забезпечення, яке може використовуватись для навчання та перевірки знань з охорони праці.

В роботі [3] розглядалась наявність та функціональні можливості програмного забезпечення, яке наявне для аналізу виробничого травматизму та реєстрації нещасних випадків. В роботах [4; 5] розглядалися підходи щодо можливості проведення оптимізації наглядової діяльності з виробничого травматизму.

В роботі [6] показано, що сфері охорони праці характерний дуже низький рівень забезпеченості спеціалізованим програмним забезпеченням.

Таким чином, розробка нового програмного забезпечення для його використання в сфері охорони праці з метою вдосконалення системи управління охороною праці, а також зменшення кількості часу на проведення перевірок належних умов праці має високий рівень актуальності.

Мета статті – розробка спеціалізованого програмного забезпечення для проектування приміщень з ЕОМ відповідно до норм чинного законодавства та із забезпеченням належних умов праці для працівників, які використовують ВДТ ЕОМ.

Результати досліджень. В Україні діють два основні нормативні документи, в яких містяться основні правила та вимоги до приміщень, в яких працівники використовують ЕОМ. До цих документів відносяться *ДСанПІН 3.3.2.007-98 Гігієнічні вимоги до організації роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин* [7] та *Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин* [8]. Зазначені документи встановлюють правила щодо проектування, облаштування приміщень з ЕОМ, розміщення в них обладнання, зазначають норми мікроклімату, освітлення, тощо.

При проектуванні приміщення з ЕОМ відповідно до норм охорони праці існує декілька основних етапів. В першу чергу,

необхідно провести проектування одного робочого місця із забезпеченням двох основних вимог, а саме:

- площа одного робочого місця повинна становити не менше 6 м^2 ;
- об'єм одного робочого місця повинен становити не менше 20 м^3 .

За нормами охорони праці повинно обов'язково виконуватись обидві вищезазначені вимоги.

Крім того, встановлено, що відстань від тильної сторони одного ВДТ до іншого ВДТ повинна бути не менше $2,5 \text{ м}$, а між робочими місцями необхідно передбачити проходи шириною щонайменше $1,2 \text{ м}$ [7]. Умовно ці вимоги зображені на рис. 1. Для забезпечення цих вимог була розроблена методика, яка описана у [9].

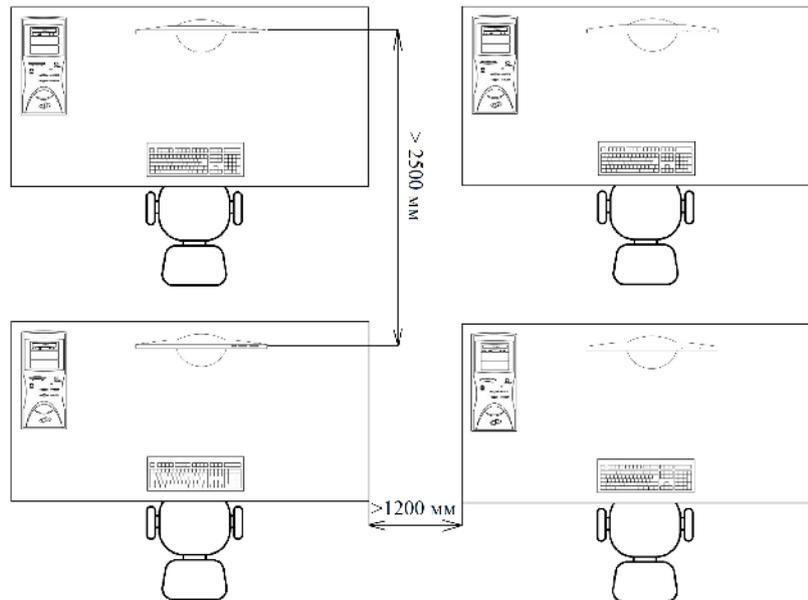


Рис. 1. Вимоги щодо взаємного розміщення робочих місць з ВДТ ЕОМ

При визначенні розмірів робочого місця необхідно передбачити, щоб одна сторона була більше $2,5 \text{ м}$ (рис. 1). Тому приймаємо, що сторона $b_1 = 2,6 \text{ м}$. Тоді ширина одного робочого місця (РМ) становитиме:

$$a_1 = S_{\text{розр}} / b_1 = 6,28 / 2,6 = 2,41 \text{ м} \quad (2)$$

де $S_{\text{розр}}$ – розрахункова площа одного РМ, м^2 ; a_1 і b_1 – ширина і довжина одного РМ, відповідно, м .

На наступному етапі необхідно провести планування взаємного розташування

Оскільки об'єм приміщення залишається незмінним, то необхідно спочатку перевірити, чи достатньою буде площа одного робочого місця при забезпеченні мінімального об'єму 20 м^3 . Для цього необхідно перевірити наступну умову:

$$S_{\text{розр}} = \frac{V_{1\text{min}}}{h_1} \geq 6 \text{ м}^2, \quad (1)$$

де $V_{1\text{min}}$ – мінімальний об'єм на одне робоче місце, м^3 ; h_1 – висота одного робочого місця, яка рівна висоті приміщення, м .

Якщо при мінімальному об'ємі в 20 м^3 не забезпечується вимога щодо мінімальної площі 6 м^2 , то необхідно збільшити об'єм на одне робоче місце. Якщо умова виконується, то можна переходити до визначення ширини і довжини одного робочого місця.

робочих місць із забезпеченням проходів щонайменше $1,2 \text{ м}$.

Для цього необхідно спочатку провести розрахунок кількості РМ по одній із сторін приміщення, наприклад, по його ширині B . В такому випадку кількість робочих місць n_B становитиме:

$$n_B = \frac{B}{(a_1 + 1,2)}, \quad (3)$$

де B – ширина приміщення, м .

Оскільки в приміщенні неможливо розмістити неціле РМ, наприклад,

0,7 робочих місць, то округлення при розрахунку виконується до цілих чисел із відкиданням знаків після коми. Площа, яка залишиться в приміщенні, в подальшому може бути використана для розміщення шафи для одягу, місця для відпочинку, кулера з водою, тощо.

Оскільки норми [7] передбачають необхідність лише одного проходу між робочими місцями в приміщеннях з ЕОМ, то по іншій стороні приміщення можна виконати типовий розрахунок, а саме:

$$n_D = \frac{D}{b_1}, \quad (4)$$

де A – довжина приміщення, м; n_A – кількість місць по довжині приміщення, шт.

Тоді загальна кількість місць в приміщенні $n_{\text{заг}}$ буде визначатись за формулою:

$$n_{\text{заг}} = n_A \cdot n_B. \quad (5)$$

Для виконання вищезазначеного розрахунку було розроблено програмний

продукт «Охорона праці в офісі». Під офісом розуміється в даному випадку будь-яке приміщення, де робочі місця передбачають використання ВДТ ЕОМ у вигляді, ПК, ноутбуків або моноблоків. На рисунку 2 наведено інтерфейс головного вікна розробленої програми.

Як видно з рисунку 2, програма має чотири вкладки, а саме:

- калькулятор – для внесення вхідних даних та проведення розрахунків;
- світильники – для вибору світильників при розрахунку штучного освітлення;
- лампи – для вибору ламп;
- таблиця індексів – допоміжна вкладка із внесеними індексами приміщення та коефіцієнтами використання світлового потоку.

Для початку роботи користувачу необхідно у відповідні вікна внести дані щодо розміру приміщення.

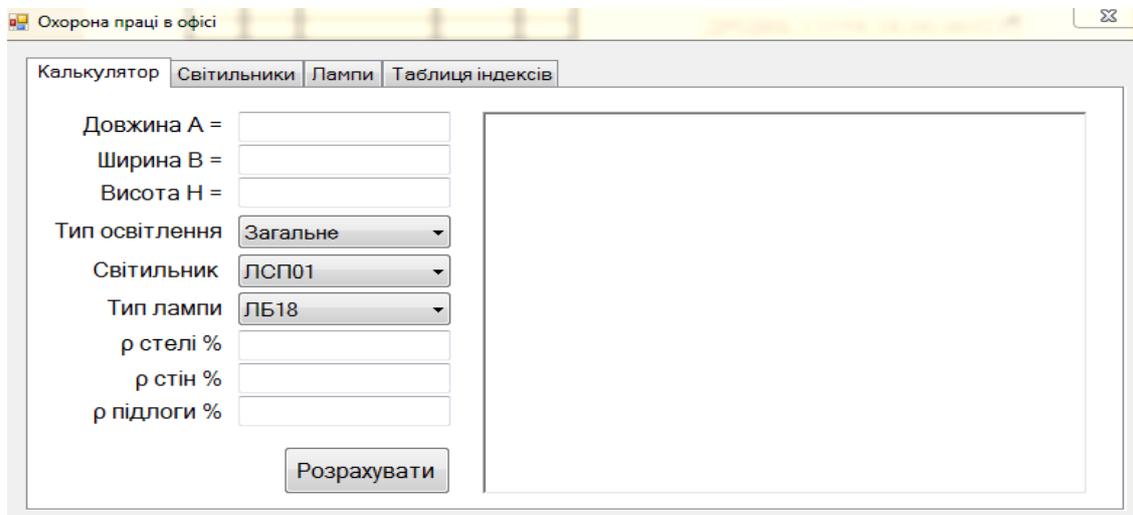


Рис. 2. Інтерфейс головного вікна програми

Оскільки при роботі з ВДТ ЕОМ одні з найчастіших професійних захворювань – це захворювання очей та погіршення зору, то в програмі «Охорона праці в офісі» також передбачена можливість виконання розрахунку загального штучного освітлення приміщення.

Розрахунок штучного освітлення виконується методом коефіцієнту використання світлового потоку у

відповідності із ДБН В.2.5:28-2018 *Природне і штучне освітлення* [10].

Загальне рівномірне освітлення горизонтальних площин за цим методом визначається за формулою:

$$F = \frac{E \cdot K_3 \cdot S \cdot Z}{\eta}, \quad (6)$$

де E – нормована мінімальна освітленість, лк; F – загальний світловий потік приміщення, лм; Z – відношення середньої освітленості до

мінімальної; K_z – коефіцієнт запасу; η – коефіцієнт використання світлового потоку.

Значення коефіцієнту використання світлового потоку визначається за табличними даними на основі коефіцієнтів відбиття підлоги, стелі та стін, типу обраного світильника та індексу приміщення. Індекс приміщення I визначається за формулою:

$$I = \frac{S}{H_{\text{зав}} \cdot (A+B)}, \quad (7)$$

де S – площа приміщення, м^2 ; A і B – довжина і ширина приміщення відповідно, м ; $H_{\text{зав}}$ – висота зависання світильника, м .

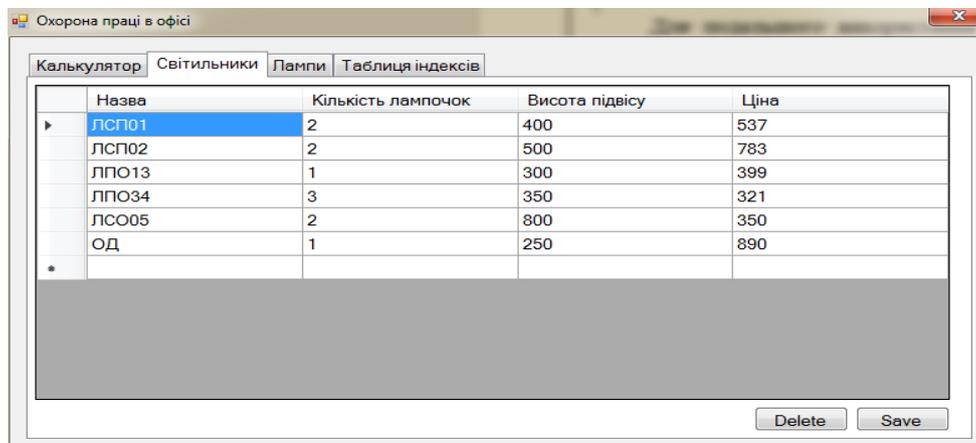
Висота зависання світильника представляє собою відстань між робочою

поверхнею та світильником, і визначається як:

$$H_{\text{зав}} = H - h_p - h_{\text{під}}, \quad (8)$$

де h_p – висота робочої поверхні (висота стола), м ; H – висота приміщення з ЕОМ, м ; $h_{\text{під}}$ – висота підвісу світильника, м .

Для розрахунку загального штучного освітлення необхідно обрати тип світильника. За замовченням в програмі введені світильники типу ЛСП01, ЛСП02, ОД, ЛПО34, ЛСО05, ЛПО13. Характеристики та вартість світильника відображаються на відповідній вкладці Світильники у програмі (рис. 3).



Назва	Кількість лампочок	Висота підвісу	Ціна
ЛСП01	2	400	537
ЛСП02	2	500	783
ЛПО13	1	300	399
ЛПО34	3	350	321
ЛСО05	2	800	350
ОД	1	250	890

Рис. 3. Вкладка світильників із відображенням їх характеристик

Користувач в будь-який момент часу може видалити наявний світильник шляхом його вибору, як це показано на рисунку 3 та подальшим натисканням кнопки Delete. Якщо існує необхідність завантажити новий світильник у програму, достатньо у новому рядку внести про нього дані та натиснути кнопку Save.

Окрім вибору світильників на головному вікні програми користувачу також необхідно обрати лампу, яка передбачається для використання в приміщенні з ЕОМ. В програмі введені лампи за замовченням, які відображені на вкладці із відповідною назвою (рис. 4). Видалення та додавання нових видів ламп виконується аналогічно до видалення та додавання нових світильників.

Хоча таблиця коефіцієнтів використання світлового потоку є типовими довідниковими даними, в програмі також передбачено можливість внесення правок і в

значення коефіцієнту світлового потоку. Для цього необхідно відкрити відповідну вкладку під назвою «Таблиця індексів» (рис. 5) та виконати видалення старих даних, збереження нових або редагування існуючих.

Слід відзначити, що деякі дані, які використовують для розрахунку, внесені в програму за замовченням та не можуть бути змінені.

До цих даних відносяться:

- коефіцієнт запасу K_z , який становить 1,5 для приміщень з ЕОМ відповідно до ДБН В.2.5:28-2018 *Природне і штучне освітлення* [10];

- відношення середньої освітленості до мінімальної Z , який становить 1,1 для приміщень з ЕОМ;

- нормована освітленість, яка становить 400 люк для системи загального освітлення та 300 люк для системи комбінованого

освітлення відповідно до ДБН В.2.5:28-2018
Природне і штучне освітлення [10].

Вибір системи освітлення виконується із
випадаючого списку аналогічно до вибору
типу світильника або лампи (рис. 6).

Назва	V	Вт	Світловий потік	Ціна
ЛБ18	57	18	100	18
ЛД18	57	18	100	13
ЛБ20	57	20	200	20
ЛБ20-2	65	20	200	22
ЛД20-2	65	20	200	12
ЛБ30	106	30	300	26
ЛБУ30	104	30	300	25
ЛБ36	103	36	350	28
ЛБ40	103	40	400	42
ЛБ40	103	40	400	42
ЛБ40-2	110	40	400	40
ЛД40-2	110	40	400	40

Рис. 4. Вкладка ламп із відображенням їх характеристик

Назва лампи	р стелі %	р стін %	р підлоги %	Індекс	nu
ЛПО13	70	50	30	0,5	26
ЛПО13	70	50	30	0,6	30
ЛПО13	70	50	30	0,7	34
ЛПО13	70	50	30	0,8	38
ЛПО13	70	50	30	0,9	40
ЛПО13	70	50	30	1	43
ЛПО13	70	50	30	1,1	46
ЛПО13	70	50	30	1,25	49
ЛПО13	70	50	30	1,5	54
ЛПО13	70	50	30	1,75	57
ЛПО13	70	50	30	2	60

Рис. 5. Вкладка коефіцієнтів використання світлового потоку та індексів приміщення

а

Довжина А =

Ширина В =

Висота Н =

Тип освітлення: **Загальне**

Світильник: **Комбіноване**

Тип лампи: **ЛБ18**

р стелі %:

р стін %:

р підлоги %:

Розрахувати

б

Довжина А =

Ширина В =

Висота Н =

Тип освітлення: **Загальне**

Світильник: **ЛСП01**

Тип лампи: **ЛСП01**

р стелі %:

р стін %:

р підлоги %:

Розрахувати

в

Довжина А =

Ширина В =

Висота Н =

Тип освітлення: **Загальне**

Світильник: **ЛСП01**

Тип лампи: **ЛБ18**

р стелі %:

р стін %:

р підлоги %:

Рис. 6. Вибір параметрів для розрахунку загального штучного освітлення приміщення з ЕОМ:
а – вибір системи освітлення; б – вибір світильника; в – вибір лампи

Після вводу необхідних даних та вибору типу світильників і ламп, які передбачаються для використання в приміщенні з ЕОМ, можна провести розрахунок наступних параметрів:

– розмірів одного робочого місця відповідно до вимог;

– загальної кількості робочих місць із забезпеченням нормованих відстаней;

– штучного загального рівномірного освітлення приміщення з ЕОМ;

– вартості освітлення.

Результати розрахунків наведені на рисунку 7.

The screenshot shows a software window titled "Охорона праці в офісі" with a tabbed interface. The active tab is "Світильники". On the left, there are input fields for: Довжина A = 10, Ширина B = 10, Висота H = 3, Тип освітлення (dropdown: Загальне), Світильник (dropdown: ЛПО34), Тип лампи (dropdown: ЛБ30), р стелі % (70), р стін % (50), р підлоги % (30). A "Розрахувати" button is at the bottom. On the right, the results are displayed: Довжина робочого місця a = 2,152, Ширина робочого місця b = 3,098, Робочих місць - 8, Кількість світильників - 14, Кількість ламп - 40, Вартість світильників - 4494, Вартість ламп - 1040, Загальна вартість - 5534.

Рис. 7. Результати виконаних розрахунків

Для пришвидшення та спрощення роботи із програмою «Охорона праці в офісі», а також з метою мінімізації можливості виникнення помилок, в програмі реалізовано захист від введення помилкових даних або даних неналежного типу.

Наприклад, поля для введення розмірів приміщення передбачаються як числові. У випадку, якщо користувач спробує ввести текст у ці поля, програма виведе повідомлення стосовно некоректності введених даних (рис. 8).

The screenshot shows the same software window as in Figure 7, but with an error message. The "Довжина A" field contains the text "asdasd". The right-hand results area now displays the message "Некоретно введений параметр A". The "Розрахувати" button is still visible at the bottom.

Рис. 8. Повідомлення про некоректно введені дані

При спробі ввести коефіцієнти відбиття стелі, стін або підлоги, які відсутні у довідниковій таблиці на вкладці Таблица

індексів, програма теж сповістить про таку помилку (рис. 9).

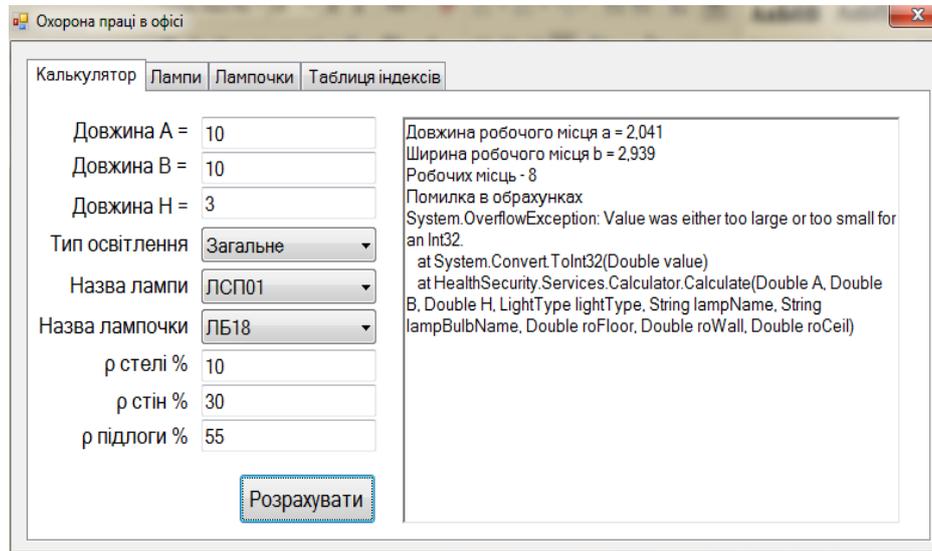


Рис. 9. Повідомлення про помилку в обчисленнях та некоректно введений коефіцієнт відбиття

Розроблений програмі характерні ряд недоліків, які можна вдосконалити в майбутньому. До таких недоліків слід віднести відсутність функціоналу щодо відображення на схемі розташування робочих місць та світильників в площині приміщення.

Висновки

Розроблена програма представляє собою інструментарій для проектування приміщень з ЕОМ відповідно до вимог чинного законодавства з охорони праці. В програмі наявний функціонал для розрахунку розміру одного робочого місця із дотриманням регламентованих мінімальних площі та об'єму на одного працівника. Також за допомогою програми «Охорона праці в

офісі» можна виконати розрахунок загальної кількості робочих місць в приміщенні.

Програму можна використовувати для проведення розрахунку загального штучного рівномірного освітлення на горизонтальних робочих поверхнях. Розрахунок освітлення виконаний у відповідності до ДБН В.2.5:28-2018 *Природне і штучне освітлення* та дає можливість не лише провести проектування системи освітлення, а також можна виконати перевірку наявного освітлення у вже існуючому приміщенні.

Практичного застосування розроблена програма може отримати при проектуванні та плануванні приміщень, де працівники використовують ЕОМ, а також при перевірці забезпечення належних умов праці у вже запроєктованих приміщеннях.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кількість ФОПів в ІТ-сфері в Україні становить понад 248 тисяч осіб. URL: <https://ain.ua/2025/06/29/kilkist-it-fopiv-v-ukrayini-nablizajetsia-do-cverti-miliona/> (дата звернення : 10.07.2025).
2. Соколан Ю. С., Романішина О. В. Аналіз програмного забезпечення для навчання та перевірки знань з охорони праці. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. 2020. № 4 (287). С. 75–83.
3. Соколан Ю. С., Романішина О. В. Оптимізація наглядової діяльності з питань аналізу та обліку нещасних випадків на підприємствах шляхом створення баз даних. *Український журнал будівництва та архітектури*. 2023. № 1 (013). С. 83–90.
4. Соколан Ю. С., Романішина О. В. Аналіз спеціалізованого програмного забезпечення з охорони праці для реєстрації нещасних випадків та аналізу травматизму. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. 2021. №1 (293). С. 58–66.
5. Соколан Ю. С. Оптимізація наглядової діяльності з виробничого травматизму. *Технічна творчість*. 2022. № 5. С. 56–58.

6. Соколан Ю. С. Проблематика забезпеченості спеціалізованим програмним забезпеченням в сфері охорони праці. *Охорона праці : Освіта і практика : Всеукр. наук.-практ. конф. виклад. та фахівців-практиків* (м. Львів, 27.04.2021). 2021. С. 18–20.
7. ДСанПІН 3.3.2.007-98. Державні санітарні правила і норми. Гігієнічні вимоги до організації роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин. [Чинний від 10.12.1998]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0007282-98#Text> (дата звернення: 10.07.2025).
8. Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин. [Чинний від 14.02.2018]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0293-10#Text> (дата звернення: 10.07.2025).
9. Соколан Ю. С. Безпека життєдіяльності, охорона праці, цивільний захист та екологічна безпека : методичні рекомендації до практичних занять для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти ІТ-спеціальностей. Хмельницький : ХНУ, 2025 р. 64 с.
10. ДБН В.2.5:28-2018. Природне і штучне освітлення. [Чинні від 2019-03-01]. Київ : Мінергіон України, 2018. 137 с. (Державні будівельні норми).

REFERENCES

1. *Kilkist FOPiv v IT-sferi stanovyт ponad 248 tysyach osib* [The number of individual entrepreneurs in the IT sector in Ukraine is more than 248 thousand people]. URL: <https://ain.ua/2025/06/29/kilkist-it-fopiv-v-ukrayini-nablizajetsia-do-cverti-miliona/> (accessed: 10.07.2025). (in Ukrainian).
2. Sokolan Yu.S. and Romanishina O.V. *Analiz programnogo zabezpechennya dlya navchannya ta perevirky znan z pytan ohorony pratsi* [Analysis of the software for training and knowledge assessment regarding professional safety]. *Visnyk Khmel'nyts'koho natsional'noho universytetu. Tekhnichni nauky* [Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences]. 2020, no. 4 (287), pp. 75–83. (in Ukrainian).
3. Sokolan Yu.S. and Romanishina O.V. *Optyimizatsiia nagliadovoi diyalnosti z pytan analizu ta obliku neshchasnykh vypadkiv na pidpriemstvakh schliahom stvorennya baz danyh* [Optimization of supervisory activities on the analysis and accounting of accidents at enterprises by creating databases]. *Ukrayins'kyi zhurnal budivnytstva ta arkhitektury* [Ukrainian Journal of Civil Engineering and Architecture]. 2023, no. 1 (013), pp. 83–90. (in Ukrainian).
4. Sokolan Yu.S. and Romanishina O.V. *Analiz spetsializovanogo programnogo zabezpechennya z ohorony pratsi dlya reestratsii neshchasnykh vypadkiv ta analizu travmatyzmu* [Analysis of specialized occupational safety software for registration of industrial accidents and accident rate analysis]. *Visnyk Khmel'nyts'koho natsional'noho universytetu. Tekhnichni nauky* [Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences]. 2021, no. 1, pp. 58–66. (in Ukrainian).
5. Sokolan Yu.S. *Optyimizatsiia nagliadovoi diyalnosti z vyrobnychogo travmatyzmu* [Optimization of supervisory activities on industrial injuries]. *Tekhnichna tvorchist'* [Technical Creativity]. 2022, no. 5, pp. 56–58. (in Ukrainian).
6. Sokolan Yu.S. *Problematyka zabezpechenosti spetsializovanim programnym zabezpechenniam v sferi ohorony pratsi* [Problems of provision of specialized software in the field of labor protection]. *Problemy ta perspektyvy rovytku ohorony pratsi : Vseukrainska naukovo-praktychna konferentsiya* [Problems and Prospects of Development of Labor Protection : All-Ukrainian Scientific and Practical Conference]. Lviv, 2021, pp. 16–17. (in Ukrainian).
7. *DSanPIN 3.3.2.007-98. Derzhavni sanitarni pravila i normi. Gigiyenichni vimogi do organizatsiyi roboti z vizualnimi displejnimi terminalami elektronno-obchislyvalnih mashin* [SSRR 3.3.2.007-98. State Sanitary Rules and Regulations. Hygienic requirements for the organization of work with visual display terminals of electronic computers]. Valid from 10.12.1998. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0007282-98#Text> (accessed: 10.07.2025). (in Ukrainian)
8. *Pravila ohoroni praci pid chas ekspluatatsiyi elektronno-obchislyvalnih mashin* [Rules of labor protection during the operation of electronic computer machines]. Valid from 14.02.2018. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0293-10#Text> (accessed: 10.07.2025). (in Ukrainian).
9. Sokolan Yu.S. *Bezpeka zhyttyediyal'nosti, okhorona pratsi, tsyvil'nyy zakhyst ta ekolohichna bezpeka : Metodychni rekomendatsiyi do praktychnykh zanyat' dlya zdobuvachiv pershoho (bakalavrs'koho) rivnya vyshchoyi osvity IT-spetsial'nostey* [Life safety, occupational safety, civil protection and environmental safety : Methodical recommendations for practical classes for applicants for the first (bachelor's) level of higher education in IT specialties]. Khmelnytskyi : KhNU, 2025, 64 p. (in Ukrainian).
10. *DBN B.2.5:28-2018. Pryrodne ta shtuchne osviltennya* [SCN B.2.5:28-2018. Natural and artificial illumination]. Valid from 2019-03-01. Official edition. Kyiv : Ministry of Regional Construction of Ukraine, 2019, 137 p. (State Building Codes of Ukraine). (in Ukrainian).

Надійшла до редакції: 22.11.2025.

УДК 624.016

DOI: 10.30838/UJCEA.2312.250226.152.1219

КОНСТРУКТИВНЕ РІШЕННЯ ДЕРЕВОЗАЛІЗОБЕТОННОЇ СТІНОВОЇ ПАНЕЛІ ДЛЯ ЕКОЛОГІЧНИХ БУДІВЕЛЬ

ШЕХОРКІНА С. Є.^{1*}, докт. техн. наук, проф.,
ЗАХАРОВ М. О.², асп.

^{1*} Кафедра залізобетонних та кам'яних 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 (095) 021-84-44, e-mail: svitlana.shekhorkina@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-7799-2250

² Кафедра залізобетонних та кам'яних 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 (067) 630-03-10, e-mail: Vilenas.dir@gmail.com, ORCID ID: 0009-0000-6336-6884

Анотація. Постановка проблеми. Масштаби руйнувань внаслідок воєнних дій вимагають розробки інноваційних будівельних рішень. Традиційні методи будівництва, що використовують матеріали з високим вуглецевим слідом, стають неефективними з екологічної точки зору. Особливо актуальним є пошук альтернатив, які поєднують швидкість монтажу, доступність матеріалів та мінімальний вплив на довкілля. Вирішення цієї проблеми потребує комплексного підходу, що враховує як технічні характеристики матеріалів, так і їх екологічну ефективність протягом усього життєвого циклу. **Мета статті** – розробка конструктивного рішення стінової панелі, що відповідає вимогам щодо екологічної ефективності та теплоізоляційних характеристик. **Висновки.** Запропоноване конструктивне рішення деревозалізобетонної стінової панелі, яка складається з трьох шарів: 1) внутрішнього несучого шару з перехресно-клеєної деревини; 2) зовнішнього бетонного шару на вторинному заповнювачі для захисту внутрішніх шарів від умов зовнішнього середовища та наступного оздоблення фасадів будівлі; 3) теплоізоляційного шару з матеріалів природного походження. Проведено систематизацію та аналіз характеристик теплопровідності та шкідливих викидів протягом життєвого циклу різних видів природної теплоізоляції, визначено її товщину для забезпечення необхідного опору теплопередачі стінової панелі. Надано рекомендації щодо вибору природної теплоізоляції з точки зору екологічних показників. Конструкція панелі поєднує переваги деревини, бетону на вторинному заповнювачі та біоізоляції, що робить її перспективною для швидкої відбудови зруйнованої інфраструктури з одночасним зниженням впливу будівництва на навколишнє середовище. Конструктивне рішення враховує особливості загальноприйнятих технологій виробництва та монтажу, що спрощує впровадження запропонованого рішення у практику будівництва.

Ключові слова: стінові панелі; перехресно-клеєна деревина; вторинний бетон; біоізоляція; екологічна ефективність

STRUCTURAL SOLUTION OF TIMBER-CONCRETE WALL PANEL FOR ECOLOGICAL BUILDINGS

SHEKHORKINA S.Yev.^{1*}, Dr. Sc. (Tech.), Prof.,
ZAKHAROV M.O.², Postgrad. Stud.

^{1*} Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures, 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 (095) 021-84-44, e-mail: svitlana.shekhorkina@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-7799-2250

² Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures, 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) 630-03-10, e-mail: Vilenas.dir@gmail.com, ORCID ID: 0009-0000-6336-6884

Abstract. Problem statement. The scale of destruction caused by military actions requires the development of innovative construction solutions. Traditional construction methods that use materials with high carbon footprints are becoming environmentally unsustainable. Of particular relevance is the search for alternatives that combine rapid installation, material availability, and minimal environmental impact. Solving this problem requires a comprehensive approach that considers both the technical characteristics of materials and their environmental efficiency throughout the entire life cycle. **The purpose of the article** is the development of a wall panel structural solution that meets requirements for both environmental efficiency and thermal insulation performance. **Conclusion.** The proposed structural solution for

a timber-reinforced concrete wall panel consists of three layers: 1) an inner load-bearing layer made of cross-laminated timber; 2) an outer concrete layer with recycled aggregate, designed to protect internal layers from environmental exposure and serve as a base for building facade finishing; 3) a thermal insulation layer composed of natural bio-based materials. The study includes systematic analysis of thermal conductivity characteristics and life cycle emissions of natural insulation materials, with determination of optimal insulation thickness to achieve required thermal resistance. Recommendations are provided for selecting natural insulation materials based on environmental performance indicators. This panel design combines the advantages of timber, recycled concrete and bio-based insulation, making it particularly suitable for rapid reconstruction of damaged infrastructure while simultaneously reducing the environmental impact of construction. The structural solution incorporates conventional manufacturing and installation techniques, facilitating practical implementation in construction projects.

Keywords: *wall panel; cross-laminated timber; recycled concrete; bio-based insulation; ecoefficiency*

Постановка проблеми, огляд публікацій. Масштабні руйнування об'єктів житлового фонду та соціальної інфраструктури внаслідок воєнних дій обумовлюють необхідність пошуку ефективних рішень щодо відбудови. Застосування індустріального технологій збірного (модульного) будівництва з попередньо виготовлених конструкцій дозволить зменшити терміни зведення при забезпеченні відносної дешевизни [1]. Даний підхід до зведення будівель характеризується меншою кількістю технологічних операцій та будівельних відходів в порівнянні з традиційними методами [2], а також є перспективним з точки зору автоматизації виготовлення та монтажу з використанням останні досягнень в галузі інформаційного моделювання, робототехніки та штучного інтелекту [3].

Одним із поширених елементів у збірному будівництві є стінові панелі. За конструктивним рішенням вони можуть бути одношаровими з подальшим утепленням безпосередньо на будівельному майданчику, та тришаровими, які складаються із зовнішнього та внутрішнього шарів з важкого бетону і розташованого між ними теплоізоляційного шару [4]. В якості теплоізоляції як правило використовують пінополістирол, пінопласт або мінеральну вату. Недоліком відомих конструкцій стінових панелей є низька екологічна ефективність, оскільки матеріали, які сьогодні застосовуються для їх виготовлення, характеризуються значними обсягами шкідливих викидів протягом всього життєвого циклу – від видобутку сировини до утилізації [5]. З огляду на це,

одним із напрямків удосконалення стінових панелей є розробка конструктивних рішень з підвищеними характеристиками екологічної безпеки та ресурсоефективності. При цьому з точки зору швидкого впровадження у практику будівництва доцільним є застосування усталених технологій виробництва та монтажу.

Як показав аналіз існуючих досліджень з аналогічної проблематики щодо різних типів будівельних конструкцій, перспективним є використання відновлюваних матеріалів рослинного походження, вторинної сировини, а також поєднання різних матеріалів в одній конструкції [6–8]. До таких матеріалів відносяться, наприклад, деревина та бетон на заповнювачах вторинного походження (рециклінговий бетон).

Сучасні стратегії скорочення викидів вуглекислого газу (CO₂) в будівельному секторі пов'язані із поліпшенням теплоізоляційних характеристик огорожувальних конструкцій, що забезпечить підвищення ефективності витрат на опалення та комфортні параметри мікроклімату приміщень. Вибір теплоізоляційних матеріалів має найбільший потенціал зниження викидів CO₂ протягом періоду експлуатації будівлі. Енергія, заощаджена завдяки ефективній теплоізоляції, може компенсувати енергію, витрачену в процесі її виробництва. Істотний внесок у досягнення мети нульового рівня викидів у будівельному секторі можуть забезпечити ізоляційні матеріали на основі біосировини [9]. Ці матеріали являють собою екологічно чисті альтернативи традиційним синтетичним утеплювачам і виготовляються

з відновлюваної природної сировини рослинного або тваринного походження, побічних продуктів сільськогосподарського виробництва тощо. Дані види ізоляції потенційно є біорозкладаними або придатними для повної переробки з мінімальним рівнем залишкових продуктів[10].

Таким чином, застосування в будівельних конструкціях відновлюваних матеріалів та сировини вторинного походження є ключем до майбутньої трансформації будівельної галузі в аспектах мінімізації шкоди навколишньому

середовищу та досягнення кліматичної нейтральності.

Мета роботи – розробка конструктивного рішення стінової панелі, що відповідатиме вимогам щодо екологічної ефективності та теплоізоляційних характеристик.

Виклад матеріалу. Виходячи з проведеного аналізу останніх досліджень в галузі екологічного будівництва було розроблено конструктивне рішення деревозалізобетонної стінової панелі, схематичне зображення якого приведено на рисунку 1.

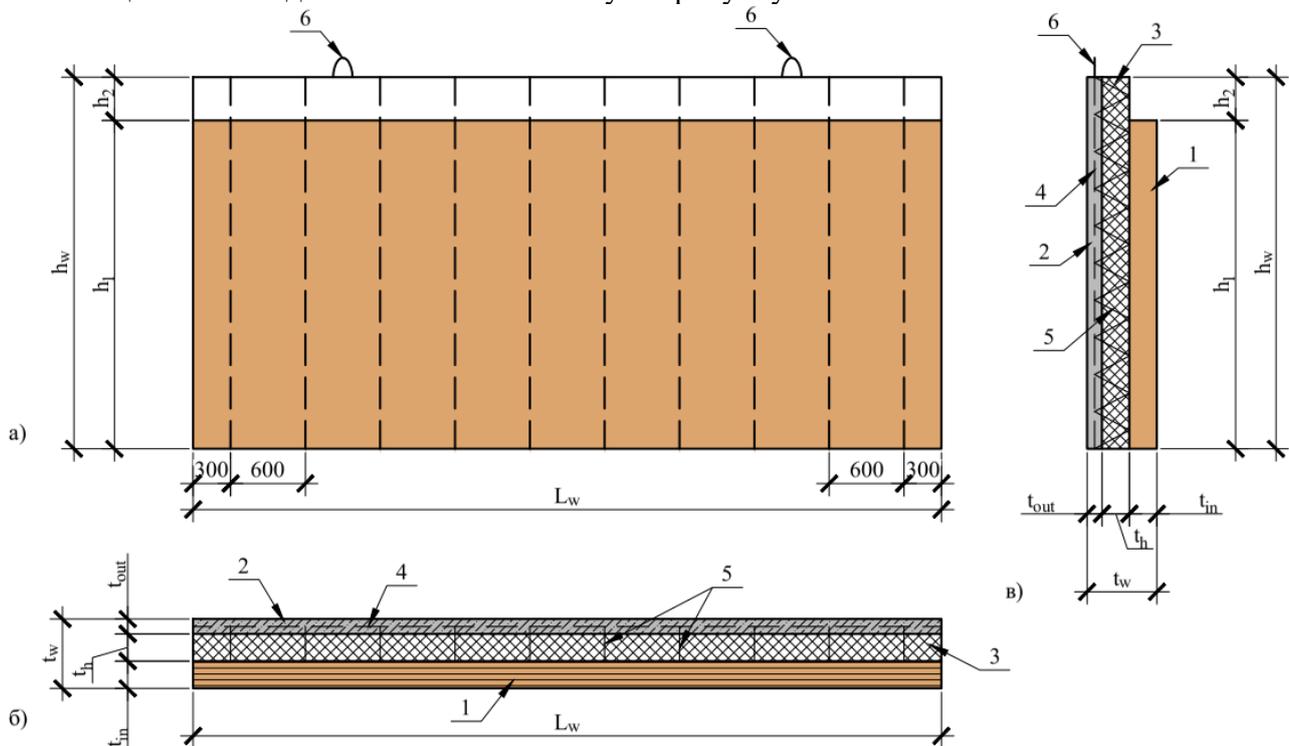


Рис. 1. Конструктивне рішення гібридної деревозалізобетонної стінової панелі: а – вид спереду; б – вид зверху; в – вид збоку; 1 – внутрішній шар з перехресно-клеєної деревини; 2 – зовнішній шар із залізобетону; 3 – теплоізоляційне заповнення; 4 – арматурна сітка; 5 – гнучкі зв'язки; 6 – монтажні петлі

Пропонована стінова панель складається з трьох елементів, що об'єднуються в єдину конструкцію:

- 1 – внутрішній несучий шар з перехресно-клеєної деревини;
- 2 – зовнішній ненесучий (фасадний) шар із бетону на вторинному заповнювачі;
- 3 – заповнення теплоізоляційним матеріалом природного походження.

Габаритні розміри стінової панелі визначаються виробничими параметрами обладнання та сортаментом виробів з

перехресно-клеєної деревини. Загалом, довжина панелі L_w не перевищує 6м.

Шар з перехресно-клеєної деревини (поз. 1, рис. 1) забезпечує сприйняття всіх навантажень, що діють на стіну, та є елементом несучої системи будівлі, на який спираються елементи перекриття. Товщина несучого шару t_{in} визначається розрахунком панелі за несучою здатністю та експлуатаційною придатністю. При визначенні товщини несучого шару слід керуватися сортаментом перехресно-клеєної

деревини за її товщиною. Зокрема, на сьогодні виготовляються 3, 5 7 та 9-шарові перехресно-клеєні панелі, мінімальна товщина становить – 60 мм, максимальна – 360 мм. Товщина приймається кратно 20–30 мм згідно технології виготовлення масивної деревини.

Шар із бетону на вторинному заповнювачі (поз. 2, рис. 1) має функцію захисту внутрішніх матеріалів (теплоізоляції та деревини) від умов зовнішнього середовища, а також слугує основою для оздоблення фасадів будівлі. Армування бетонного шару приймається конструктивно, сіткою з арматури класу А240С Ø6 мм з розміром клітинки 200x200 мм (поз. 4, рис. 1). Товщина бетонного шару t_{out} приймається мінімально можливою, виходячи з умов забезпечення захисного шару для арматури. Товщина захисного шару визначається наступним чином [11]:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}, \quad (1)$$

$$c_{min} = \max \begin{cases} c_{min,b} \\ c_{min,dur} \\ 10\text{мм} \end{cases}, \quad (2)$$

де Δc_{dev} – допустиме проектне відхилення, приймається 10 мм; $c_{min,b}$ – визначається з умов зчеплення арматури з бетоном, приймається рівним діаметру арматури ($c_{min,b} = 6$ мм); $c_{min,dur}$ – визначається в залежності від умов експлуатації (наприклад, для конструкції класу S4 в умовах середовища класу впливу ХС3 «Помірно вологе» $c_{min,dur} = 25$ мм).

Таким чином, при $c_{min} = 25$ мм, необхідна товщина захисного шару $c_{nom} = 35$ мм, а товщина залізобетонного елемента панелі становитиме $t_{out} = 2c_{nom} = 70$ мм.

З'єднання зовнішнього та внутрішнього шарів панелі виконується за допомогою гнучких зав'язків (поз. 5, рис. 1), які виготовляються із гладкої стержневої сталі. Кріплення гнучких зав'язків до дерев'яного шару забезпечується через сталеві кутники на саморізах, а до залізобетонного шару – шляхом зв'язування із арматурною сіткою. Крок розташування гнучких зв'язків

становить 600 мм, що визначається типорозмірами рулонної або плитної теплоізоляції.

Загальна висота стінової панелі h_w визначається необхідною висотою приміщення. При цьому висота внутрішнього несучого шару h_1 залежить від сортаменту перехресно-клеєної деревини, проте не має перевищувати 3,5 м. Для обпирання елементів перекриття будівлі в стіновій панелі передбачено опорну ділянку на внутрішньому елементі висотою h_2 , величина якої залежить від загальної товщини несучих конструкцій перекриття і приймається в межах $h_2 = 200\text{--}350$ мм.

Для захвату стінової панелі при монтажі передбачаються монтажні петлі (поз. 6, рис. 1). Міцність монтажних петель слід перевіряти розрахунком на навантаження, що відповідають стадії монтажу.

Товщина теплоізоляційного шару (поз. 3, рис. 1) t_h приймається за теплотехнічним розрахунком, виходячи з мінімально допустимого значення опору теплопередачі стінової панелі для заданого регіону будівництва з урахуванням характеристик теплопровідності матеріалів.

Як теплоізоляція деревозалізобетонної панелі пропонується використовувати натуральну ізоляцію, що виготовляється з сировини природного походження. Виходячи з доступних варіантів, для порівняльного аналізу було обрано декілька видів біоізоляції [12–15]:

- рослинного походження з конопляних, пляних та деревинних волокон, газонної трави та солом'яної стружки;

- тваринного походження з овечої вовни повторного використання;

- вторинного походження з відходів паперової промисловості (целюлоза).

Розрахунок необхідної товщини шару теплоізоляції деревозалізобетонної стінової панелі проводився, враховуючи сучасні норми щодо опору теплопередачі огорожувальних конструкцій [16]:

$$R_{\Sigma пр} \geq R_{qmin}, \quad (3)$$

де $R_{\Sigma пр}$ – опір теплопередачі огорожувальної конструкції; R_{qmin} –

мінімально допустиме значення опору теплопередачі огорожувальної конструкції.

Мінімально допустимі значення опорів теплопередачі непрозорих огорожувальних конструкцій залежать від виду огорожувальної конструкції та температурної зони експлуатації будинку. Розрахунок теплоізоляції виконуємо для температурної зони II ($R_{qmin} = 4.0 \text{ м}^2 \text{ К/Вт}$).

Приведений опір теплопередачі зовнішніх стінових огорожувальних конструкцій визначається згідно з [166]:

$$R_{\Sigma np} = \frac{1}{\alpha_6} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_{ip}} + \frac{1}{\alpha_3}, \quad (4)$$

де α_6 – коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні стінової конструкції; α_3 – коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні стінової конструкції; δ_{ip} – товщина i -го шару огорожувальної конструкції; λ_{ip} – теплопровідність матеріалу i -го шару огорожувальної конструкції в розрахункових умовах експлуатації.

Для зовнішніх стін коефіцієнти тепловіддачі становлять $\alpha_6 = 8,7 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$, $\alpha_3 = 23 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$. Відповідно до даних [15] теплопровідність перехресно-класної деревини становить $\lambda_{in} = 0,12 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$. Для розрахунку теплоізоляції приймаємо товщину дерев'яного шару 120 мм. Коефіцієнт теплопровідності бетону $\lambda_{out} = 2,04 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$. Прийнята товщина бетонного шару – 70 мм.

Виходячи з вищевказаного, необхідна товщина шару теплоізоляції стінової панелі становитиме:

$$t_{in} = 2.807 \lambda_{in}. \quad (5)$$

Зведені дані про характеристики теплопровідності, шкідливих викидів протягом життєвого циклу (вуглецевий слід) та результати визначення необхідної товщини теплоізоляції природного походження для запропонованого конструктивного рішення стінової панелі приведені в таблиці.

Таблиця

Зведені дані про характеристики та результати визначення товщини теплоізоляції природного походження для деревозалізобетонної стінової панелі

Найменування	Питома вага, кг/м ³	Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К)	Вуглецевий слід, кг CO ₂ екв/кг	Розрахункова товщина теплоізоляції, мм
Конопляні мати	30–42	0,038	-2,11	107
Солом'яна ізоляція	90–100	0,041	-16,9	115
Лляна рулонна ізоляція	20–30	0,038	-1,27	107
Целюлозна ізоляція	28–65	0,037	-1,21	104
Деревинна волокниста ізоляція	35–38	0,041	-2,88	115
Вовняні мати	18–20	0,038	6,58	107
Трав'яні мати	30–80	0,04	-8,04	112

Виходячи із отриманих результатів та з урахуванням даних виробників щодо товщин продукції, фактична товщина теплоізоляції природного походження для деревозалізобетонної стінової панелі приймається $t_{in} = 120$ мм. З урахуванням екологічних характеристик теплоізоляції, що приведені в таблиці, найбільш доцільним з точки зору мінімізації впливу на навколишнє середовище є ізоляційні матеріали з солом'яної та газонної трави.

Висновки

Запропоноване конструктивне рішення деревозалізобетонної стінової панелі, яка складається з внутрішнього несучого шару з перехресно-класної деревини, зовнішнього бетонного шару на вторинному заповнювачі та шару біоізоляції, дозволяє суттєво знизити шкідливий вплив на навколишнє середовище при забезпеченні вимог щодо енергоефективності будівель.

Конструкція стінової панелі поєднує переваги деревини, бетону на вторинному заповнювачі та біоізоляції, що робить її перспективною для швидкої відбудови зруйнованої інфраструктури з одночасним зниженням впливу будівництва на навколишнє середовище. Конструктивне рішення враховує особливості загальноприйнятих технологій виробництва та монтажу, що спрощує впровадження запропонованого рішення у практику будівництва.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Lopez D., Froese T. M. Analysis of Costs and Benefits of Panelized and Modular Prefabricated Homes. *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 145. Pp. 1291–1297. URL: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.04.166> (дата звернення: 16.06.2025).
2. Zohourian M. et al. Modular Construction : A Comprehensive Review. *Buildings*. 2025. Vol. 15, № 12. P. 2020. URL: <https://doi.org/10.3390/buildings15122020> (дата звернення: 16.06.2025).
3. Rangasamy V., Yang J.-B. The convergence of BIM, AI and IoT : Reshaping the future of prefabricated construction. *Journal of Building Engineering*. 2024. Vol. 84. P. 108606. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.108606> (дата звернення: 16.06.2025).
4. Kovalsky V., Abramovych V. Analysis of existing wall panels and development of own structural solution for the construction of energy efficient multiplum buildings. *Modern technology, materials and design in construction*. 2020. Vol. 27, № 2. Pp. 46–51. URL: <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2019-2-46-51> (дата звернення: 16.06.2025).
5. Moura B. et al. Eco-Efficiency of Concrete Sandwich Panels with Different Insulation Core Materials. *Sustainability*. 2025. Vol. 17, № 4. P. 1687. URL: <https://doi.org/10.3390/su17041687> (дата звернення: 16.06.2025).
6. Li Z., Tsavdaridis K. D., Katenbayeva A. Reusable Timber Modular Buildings, Material Circularity and Automation : The role of inter-locking connections. *Journal of Building Engineering*. 2024. P. 110965. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.110965> (дата звернення: 16.06.2025).
7. Revilla-Cuesta V. et al. Using recycled aggregate concrete at a precast-concrete plant : a multi-criteria company-oriented feasibility study. *Journal of Cleaner Production*. 2022. P. 133873. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133873> (дата звернення: 16.06.2025).
8. Pastori S., Sergio Mazzucchelli E., Wallhagen M. Hybrid timber-based structures: A state of the art review. *Construction and Building Materials*. 2022. Vol. 359. pp. 129505. URL: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129505> (дата звернення: 16.06.2025).
9. Cosentino L., Fernandes J., Mateus R. A Review of Natural Bio-Based Insulation Materials. *Energies*. 2023. Vol. 16. no. 12. pp. 4676. URL: <https://doi.org/10.3390/en16124676> (date of access: 16.06.2025).
10. Cascione V. et al. Evaluating environmental impacts of bio-based insulation materials through scenario-based and dynamic life cycle assessment. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 2025. URL: <https://doi.org/10.1007/s11367-024-02425-4> (дата звернення: 16.06.2025).
11. EN 1992-1-1:2004. Eurocode 2 : Design of concrete structures - Part 1-1 : General rules and rules for buildings. [Чинний від 23.12.2004]. European Committee for Standardization, 2004. 230 p.
12. Seile A., Spurina E., Sinka M. Reducing Global Warming Potential Impact of Bio-Based Composites Based of LCA. *Fibers*. 2022. Vol. 10, № 9. P. 79. URL: <https://doi.org/10.3390/fib10090079> (дата звернення: 17.06.2025).
13. Cosentino L., Fernandes J., Mateus R. A Review of Natural Bio-Based Insulation Materials. *Energies*. 2023. Vol. 16, № 12. P. 4676. URL: <https://doi.org/10.3390/en16124676> (дата звернення: 17.06.2025).
14. Kymäläinen H.-R., Sjöberg A.-M. Flax and hemp fibres as raw materials for thermal insulations. *Building and Environment*. 2008. Vol. 43, № 7. Pp. 1261–1269. URL: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2007.03.006> (дата звернення: 17.06.2025).
15. EPD International. *EPD International*. URL: <https://www.environdec.com/> (дата звернення: 17.06.2025).
16. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. [Чинний від 2022-09-01]. Вид. офіц. Київ : Мінірегіон України, 2022. 27 с.

REFERENCES

1. Lopez D. and Froese T. M. Analysis of Costs and Benefits of Panelized and Modular Prefabricated Homes. *Procedia Engineering*. 2016, vol. 145, pp. 1291–1297. URL: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.04.166> (date of application : 16.06.2025).
2. Zohourian M. et al. Modular Construction : A Comprehensive Review. *Buildings*. 2025, vol. 15, no. 12, p. 2020. URL: <https://doi.org/10.3390/buildings15122020> (date of application : 16.06.2025).
3. Rangasamy V. and Yang J.-B. The convergence of BIM, AI and IoT : Reshaping the future of prefabricated construction. *Journal of Building Engineering*. 2024, vol. 84, p. 108606. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.108606> (date of application : 16.06.2025).

4. Kovalsky V. and Abramovych V. Analysis of existing wall panels and development of own structural solution for the construction of energy efficient multiplium buildings. *Modern Technology, Materials and Design in Construction*. 2020, vol. 27, no. 2, pp. 46–51. URL: <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2019-2-46-51> (date of application : 16.06.2025).
5. Moura B. et al. Eco-Efficiency of Concrete Sandwich Panels with Different Insulation Core Materials. *Sustainability*. 2025, vol. 17, no. 4, p. 1687. URL: <https://doi.org/10.3390/su17041687> (date of application : 16.06.2025).
6. Li Z., Tsavdaridis K.D. and Katenbayeva A. Reusable Timber Modular Buildings, Material Circularity and Automation : The role of inter-locking connections. *Journal of Building Engineering*. 2024, p. 110965. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2024.110965> (date of application : 16.06.2025).
7. Revilla-Cuesta V. et al. Using recycled aggregate concrete at a precast-concrete plant : a multi-criteria company-oriented feasibility study. *Journal of Cleaner Production*. 2022, p. 133873. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133873> (date of application : 16.06.2025).
8. Pastori S., Sergio Mazzucchelli E. and Wallhagen M. Hybrid timber-based structures : a state of the art review. *Construction and Building Materials*. 2022, vol. 359, p. 129505. URL: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129505> (date of application : 16.06.2025).
9. Cosentino L., Fernandes J. and Mateus R. A Review of Natural Bio-Based Insulation Materials. *Energies*. 2023, vol. 16, no. 12, p. 4676. URL: <https://doi.org/10.3390/en16124676> (date of access : 16.06.2025).
10. Cascione V. et al. Evaluating environmental impacts of bio-based insulation materials through scenario-based and dynamic life cycle assessment. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 2025. URL: <https://doi.org/10.1007/s11367-024-02425-4> (date of application : 16.06.2025).
11. EN 1992-1-1:2004. Eurocode 2 : Design of concrete structures - Part 1-1 : General rules and rules for buildings. Valid 23.12.2004. European Committee for Standartization, 2004, 230 p.
12. Seile A., Spurina E. and Sinka M. Reducing Global Warming Potential Impact of Bio-Based Composites Based of LCA. *Fibers*. 2022, vol. 10, no. 9, p. 79. URL: <https://doi.org/10.3390/fib10090079> (date of application : 17.06.2025).
13. Cosentino L., Fernandes J. and Mateus R. A Review of Natural Bio-Based Insulation Materials. *Energies*. 2023, vol. 16, no. 12, p. 4676. URL: <https://doi.org/10.3390/en16124676> (date of application : 17.06.2025).
14. Kymäläinen H.-R. and Sjöberg A.-M. Flax and hemp fibres as raw materials for thermal insulations. *Building and Environment*. 2008, vol. 43, no. 7, pp. 1261–1269. URL: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2007.03.006> (date of application : 17.06.2025).
15. EPD International. EPD International. URL: <https://www.environdec.com/> (date of application : 17.06.2025).
16. *DBN V.2.6-3:2021. Teplova izoliatsiia ta enerhoefektyvnist budivel. Chynnyi vid 2022-09-01. Vyd. ofits.* [DBN V.2.6-3:2021. Thermal insulation and energy efficiency of buildings. Valid from 2022-09-01. Official edition]. Kyiv : Minregion of Ukraine, 2022, 27 p. (in Ukrainian).

Надійшла до редакції: 18.11.2025.

УДК 551.34+550.3+551.243

DOI: 10.30838/UJCEA.2312.250226.159.1220

FEATURES IN THE ORGANIZATION AND IMPLEMENTATION OF RADONOMETRY FOR SEISMOTECTONIC PURPOSES AT TRANSPORT AND ENERGY INFRASTRUCTURE CONSTRUCTION SITES IN THE PERMAFROST ZONE

SEDIN V.L.¹, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,
ULYANOV V.Yu.², *Ass.*,
KOVBA V.V.^{3*}, *Ph. D., Assoc. Prof.*,
ZAHILSKYI V.A.⁴, *Ph. D., Assoc. Prof.*,
GORLACH S.M.⁵, *Ph. D., Assoc. Prof.*,
SIMONOV Yu.Yu.⁶, *Postgrad. Stud.*

¹ Department of Engineering Geology and Geotechnics, 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, e-mail: sedin.volodymyr@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0003-2293-7243

² Department of Engineering Geology and Geotechnics, 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, e-mail: uluanovvu@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-9028-3408

^{3*} Department of Engineering Geology and Geotechnics, 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, e-mail: kovba.vladyslav@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-5140-8140

⁴ Department of Engineering Geology and Geotechnics, 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, e-mail: zahilskyi.vitalii@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-7853-565X

⁵ Department of Engineering Geology and Geotechnics, 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, e-mail: horlach.serhii@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-6511-7574

⁶ Department of Engineering Geology and Geotechnics, 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, e-mail: simonov.yurii@365.pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0009-0009-8334-9198

Abstract. Problem statement. The paper analyzes the few explorations performed in this field and the conclusions obtained during the research. In reality, a comprehensive study of gas-saturated frozen soils has not been carried out at present. This has not been done either in geocryology as a whole, or within its specific lines: mechanics of frozen soils, structural geocryology, dynamic geocryology, and especially cryo-seismotectonics. There are only individual works that fragmentarily consider specific issues related to the gas saturation of frozen rocks, mainly in areas of gas- and oil production. But in modern conditions, this position should be radically revised, since a practical need has been formed to study the structure, properties, and seismotectonic processes in the zone of permafrost soils. In recent years, specialized emanation (including radon) research, conducted both in combination with some shallow geophysical work (electrical tomography, microseismic sounding, high-precision gamma spectrometry) and independently, have received some development in the countries of the Arctic (Canada, the US state of Alaska, Greenland, Spitsbergen, northern Eurasia) and Antarctic zones, as well as some internal regions of Asia (the Himalayas, Mongolia). This was because the gas component is an important feature of permafrost. The goals of such work were initially both ecology (especially after it was established that after the thawing of frozen soils in certain areas, the radon emanation increased tens of times) and geological exploration. **Purpose of the article.** Modern evaluation of organizational and technical methods for detecting radon activity of identified tectonic faults of the earth's crust in the permafrost zone. **Conclusions and results.** The authors propose a refinement of the existing methodology for detecting both faults themselves in the permafrost zone and evaluating their tectonic activity. Additionally, for confident sorting of radon anomalies and identifying the parameters of fault zones necessary to define their tectonic activity, it is recommended to introduce a special parameter – a coefficient for frozen soils that characterizes the permeability of the medium (the degree of radon emanation) after permafrost thawing. A modern analysis of previously completed works allowed us to suggest focusing further efforts on conducting radonometry in range zones of permafrost soil, studying the existing instrumentation and technical base for solving target problems and finding ways to improve it.

Keywords: *permafrost; radonometry; boreholes; radon measurements; tectonic faults*

ОСОБЛИВОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ ТА ВИКОНАННЯ РАДОНОМЕТРІЇ ДЛЯ СЕЙСМОТЕКТОНІЧНИХ ЦІЛЕЙ НА МАЙДАНЧИКАХ БУДІВНИЦТВА ТРАНСПОРТНОЇ ТА ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ В ЗОНІ ВІЧНОЇ МЕРЗЛОТИ

СЄДІН В. Л.¹, докт. техн. наук, проф.,

УЛЬЯНОВ В. Ю.², ас.,

КОВБА В. В.^{3*}, канд. техн. наук, доц.,

ЗАГІЛЬСЬКИЙ В. А.⁴, канд. техн. наук, доц.,

ГОРЛАЧ С. М.⁵, канд. техн. наук, доц.,

СИМОНОВ Ю. Ю.⁶, асп.

¹ Кафедра інженерної геології і геотехніки, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, e-mail: sedin.volodymyr@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0003-2293-7243

² Кафедра інженерної геології і геотехніки, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, e-mail: ulyanovvu@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-9028-3408

^{3*} Кафедра інженерної геології і геотехніки, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, e-mail: kovba.vladyslav@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-5140-8140

⁴ Кафедра інженерної геології і геотехніки, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, e-mail: zahilskiy.vitalii@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-7853-565X

⁵ Кафедра інженерної геології і геотехніки, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, e-mail: horlach.serhii@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-6511-7574

⁶ Кафедра інженерної геології і геотехніки, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, e-mail: simonov.yurii@365.pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0009-0009-8334-9198

Анотація. Постановка проблеми. У роботі проаналізовано деякі виконані у цій галузі дослідження, і навіть отримані висновки під час досліджень. Слід зауважити, що комплексного вивчення газонасичених мерзлих ґрунтів досі не здійснювалося. Цим питанням не займалися ні в геокріології загалом, ні в її окремих напрямках: механіці мерзлих ґрунтів, структурній та динамічній геокріології. Існують лише поодинокі праці, які розглядають окремі аспекти газонасичення мерзлих порід, переважно в районах газо- і нафтовидобутку. Однак у сучасних умовах цю позицію слід докорінно переглянути, адже сформувалася нагальна практична потреба у вивченні структури, властивостей та сейсмотектонічних процесів у зоні вічномерзлих ґрунтів. В останні роки спеціалізовані дослідження еманції (включаючи радон), що проводяться як у поєднанні з деякими неглибокими геофізичними роботами (електрична томографія, мікросейсмічні зондування, високоточна гамма-спектрометрія), так і самостійно отримали певний розвиток у країнах Арктичної (Канада, штат Аляска США, Гренландія, Шпіцберген, північна Євразія) та Антарктичної зон, а також у деяких внутрішніх регіонах Азії (Гімалаї, Монголія). Це пояснювалося тим, що газова складова є важливою особливістю вічної мерзлоти. Цілями таких робіт спочатку були як екологія (особливо після того, як було встановлено, що після відтавання мерзлих ґрунтів у певних районах еманція радону збільшувалася в десятки разів), так і геологорозвідувальні роботи. **Мета статті.** Метою статті є сучасна оцінка організаційних та технічних способів виявлення радонової активності виявлених тектонічних розломів земної кори в зоні поширення вічномерзлих ґрунтів. **Висновки.** Запропоновано уточнення існуючої методики виявлення як самих розломів у зоні вічної мерзлоти, так і оцінки їх тектонічної активності. Додатково, для впевненого розбрукування радонових аномалій та виділення параметрів розломних зон, необхідних для визначення їхньої тектонічної активності, рекомендовано ввести спеціальний параметр – коефіцієнт для мерзлих ґрунтів, що характеризує проникність середовища (ступінь радоновиділення) після відтавання мерзлоти. Сучасний аналіз раніше виконаних робіт дозволив припустити орієнтацію подальших зусиль на проведення радонометрії у зонах поширення вічно мерзлих ґрунтів. А також вивчення наявної приладової та технічної бази для вирішення цільових завдань та шляхів її вдосконалення.

Ключові слова: вічна мерзлота; радонометрія; свердловини; вимірювання радону; тектонічні розломи

Introduction. In reality, a comprehensive study of gas-saturated frozen soils has not been

carried out at present. This has not been done either in geocryology as a whole, or within its

specific lines: mechanics of frozen soils, structural geocryology, dynamic geocryology, and especially cryo-seismotectonics. There are only individual works that fragmentarily consider specific issues related to the gas saturation of frozen rocks, mainly in areas of gas- and oil production. But in modern conditions, this position should be radically revised, since a practical need has been formed to study the structure, properties, and seismotectonic processes in the zone of permafrost soils.

In recent years, specialized emanation (including radon) research, conducted both in combination with some shallow geophysical work (electrical tomography, microseismic sounding, high-precision gamma spectrometry) and independently, have received some development in the countries of the Arctic (Canada, the US state of Alaska, Greenland, Spitsbergen, northern Eurasia) and Antarctic zones, as well as some internal regions of Asia (the Himalayas, Mongolia). This was because the gas component is an important feature of permafrost. The goals of such work were initially both ecology (especially after it was established that after the thawing of frozen soils in certain areas, the radon emanation increased tens of times) and geological exploration [1–6; 11].

The latter was conducted primarily in areas of kimberlite occurrence and oil and gas fields, including those located on the shelf of the northern seas. The scope of research work has expanded significantly with the repeated placement of energy facilities in some of these zones, and with plans to develop transport infrastructure, including railways. An example is the railways in the Himalayas. However, all the work performed was of a point and experimental nature. In addition, they were usually carried out in Summer and mainly on loose soils of the upper horizons. But at present, specialized surveys are in demand at sites in the northern zone, including radonometry for seismotectonic purposes, namely, determining the activity of identified or hidden tectonic faults. Which could not be reliably identified by traditional methods of engineering geophysics in the permafrost zone. All this requires a

completely different approach, as well as an off-season mode of work, and on all types of permafrost soils. This is the purpose of this work.

The purpose of the article. Modern evaluation of organizational and technical methods for detecting radon activity of identified tectonic faults of the earth's crust in the permafrost zone.

Methodology and analysis of previously completed work. As mentioned above, the study of gas emission from frozen soils is a poorly studied branch of geocryology. This applies even more to the radonometry in frozen soils. The following two types of research carried out both in natural undisturbed natural and artificially created conditions, are known and described in the scientific literature.

In the first case, the works were carried out along profiles in Summer on one of the kimberlite pipes in the northern region to detect and trace fault zones when placing equipment (radon radiometers, the “Kamera-01” type) in the upper seasonally thawed layer of permafrost soils. The results of 2-day measurements were processed following the experience of researching the radon activity of Mongolian faults [Demberel, 2013]. To correct the results, this research was duplicated by electrical resistivity tomography. The results showed the possibility of detecting fault zones and their structure within the field.

In the second case, the research was also carried out in the northern region, but outside the permafrost soil zone for 5 months to measure the gradual diffusion of radon-222 during the thawing of artificially recreated frozen soil. A mixture of red clay containing a high content of ^{226}Ra filled the bottom of a 200-liter barrel containing a radon source. The barrel itself was buried at a depth of 1.6 m (e. g., the radium source zone), then covered with natural soil, filled with water, and frozen in situ during the winter. Radon measurements were carried out from the soil surface above the container (a disturbed soil layer) and in a background location nearby (an undisturbed soil layer). The experimental results showed a stable relationship between radon flux density and soil temperature profiles at different depths.

Measurements of radon flux density were performed using a radon radiometer by a standard technique.

As can be seen from the conditions of the field experiments, in the first case the measurements were carried out over 2 days of summer time, actually in the near-surface conditions of the seasonally thawed permafrost layer. In the second case, to conduct the research, it was necessary to carry out preliminary volumetric excavation work to place the emanation source, which is not possible in all types of soil, especially in Winter and in the permafrost zone. It is clear that such experiments will be very difficult for large-scale surveys. The duration of the experiment itself in this equipment configuration is also significant, and the work to support the experiment is very labor-intensive and costly. In addition, parallel standard geophysical explorations may be required to confirm the results.

Apart from field observations, the problem of radon emission from frozen soils was also studied using modeling methods. In particular, at the University of Leeds, Paul Grover and his colleague modeled the formation of radon gas, its distribution through soil, permafrost, and typical buildings, including those with underground and above-ground basements, and also those built on piles, using the finite element method [7]. They also found that permafrost acts as a protective barrier for radon gas, reducing emanation on the surface to one-tenth of the background level. But below the permafrost layer, the radon concentration increases up to 12 times. Moreover, this was noted over a wide range of depths.

The obtained values were likely averaged and estimated since radon emission from the subsurface depends on seismotectonics and can vary significantly in different sites. Therefore, the same article indicated that the modeling results must necessarily be confirmed by fieldwork. However, information about the implementation of such work and its results is unknown. In any case, this only indirectly confirms both the need for special verification field work on permafrost soils and the complexity of their high-quality implementation.

Findings. In the context of the target task, it seems necessary to amend the standard methodology for conducting radonometry at the sites of future railways, main pipelines, and energy facilities to identify both hidden or obvious fault zones themselves and determine their possible activity [8; 9]. The basis of the expanded methodology is the staged measurements of the volumetric activity of radon in permafrost soils in special wells. Moreover, when conducting research, the season of the year should be taken into account. During periods of negative temperatures, the first (initial) stage is immediately after the completion of well drilling. The second stage is after forced heating of the shaft by already completed drilling and a settled well (naturally, with the stability of its walls, for example, in rocky or large-debris soils).

Conducting research in this mode is due, among other things, to the inevitable processes of permafrost thawing in the foundations of future transport and energy facilities, accompanied by the release of radon. Also, as a consequence, there is a possible change in the properties of soils, including rocky ones. In this case, the volumetric activity of radon is defined both in the soil air (in the wellbore) and in the liquid phase (in its presence during thermal action on the well walls when opening, for example, in highly icy soils). During positive temperatures, the stage of thermal heating in the wellbores can be excluded. To obtain comparative background values, it is possible to determine the volumetric activity of radon from the seasonally thawed layer near the drilled wells in a favorable season of the year. The issue of radon release from the so-called cryo-pegs, in the case of their opening by the well, should also be worked out, but at later stages of research.

As the practice of laboratory research on the analysis of gas release from monoliths of frozen soils shows, the process itself begins even after their insignificant heating. But for some types of soils (usually sandy-clayey) after heating to -2°C , gas emission usually decreases sharply, which can be a kind of temperature limit of the wellbore heating function. It is noted that at such a limited temperature, the soil usually remains frozen, and therefore the stability of the walls of

such wells can be fully ensured. In the case of obtaining high-quality monoliths of frozen soils from non-rocky monolithic or their highly cracked varieties during wells drilling, their processing should also be provided.

The choice of boundary conditions can be significantly affected by the permitted operating mode of the existing target instrumentation for radonometry. For example, the limiting temperature conditions for the operation of the Alfarad+ radon radiometer from “NTM-Protection” Company are stated by the manufacturer to be no lower than $+1^{\circ}\text{C}$, for the SRS-05 seismic radon station – no lower than $+5^{\circ}\text{C}$, and for the Kamera-01 in active sorption mode no lower than 0°C .

The lower temperature limit of measurements for the widely known RAD-7 radon radiometer from DURRIDGE Company, Inc. (USA) is also 0°C . For comparison, the lower limit of the exploitability for various versions of the well-known device “AlphaGUARD” (Germany) is declared by the manufacturer to be -10°C . The lower limit of operation of radon radiometers Radon Scout PMT and RTM2200 from the company “SARAD” (Germany) is defined even at -20°C . The first of them is created specifically for work in field conditions and is equipped with a Lucas camera, and the second for work in low-temperature conditions is equipped with a special heat-protective casing in an external aluminum case (see Fig. 1). The RTM2200 system itself is equipped with heating, an electric dehumidifier, and protection against water suction.

But for Arctic, Antarctic, and high-altitude conditions, these functions on existing equipment should be significantly enhanced, considering the introduction of forced thermal heating of the well in permafrost to release radon into the measurement methodology. Moreover, it is still very difficult to find information in scientific periodicals on year-round radonometry in-situ in the northern latitudes. Thus, all of the above raises, in particular, the question of either modifying the existing equipment to reduce the lower temperature threshold for normal operation or ensuring its

operability in low-temperature conditions by other organizational or technical measures.



Fig.1. Thermal protection housing of the RTM2200 radon radiometer in an external aluminium casing. (Published with the kind permission of SARAD GmbH)

A separate issue requiring additional engineering study is the technology of drilling wells in permafrost for radonometry related to determining their depths. Also, methods for sealing wellheads to ensure high-quality radon measurements in the wellbore both directly during drilling and after its completion, and in the case of experiments in wells that have already settled. In any case, the depth of such wells should be greater than the thickness of the seasonally thawed layer and reach the layer of constant temperatures. Considering the possible placement of thermal equipment in the wellbore, its optimal diameter should be at least 168–273 mm. When drilling shallow wells in large-debris soils, common in the northern regions and especially in Northeast Asia, the most appropriate method is to use rotary drilling with a shortened core barrel with insert bits. For wells with a diameter of 219 and 273 mm – a barrel with bar teeth, once created by L.S. Amaryan for the LPG-42 rotary-vane hydraulic pressure meter (see Fig. 2) [10].

Heating the wellbore can be carried out either by electric heating elements from a portable gasoline electric generator or by exhaust gases from the engine of the drilling rig or the portable electric generator itself after they are re-equipped with the necessary fittings. Air temperature in the wellbore is measured by

standard portable temperature sensors or thermal analyzers (pyrometers).

When carrying out work above the wellhead in unfavorable periods of the year, a quick-release frame multilayer tilt-covered tent with the necessary equipment to ensure the production process, life support (heater), and fire safety can be mounted.



Fig. 2. Shortened core barrel with a diameter of 273 mm (Ulyanov, 2019, 2021)

Originality and Practical value. The proposed refinement of the existing methodology will help to identify both the faults themselves in the zone of ever-frozen subsoil and to evaluate their tectonic activity.

Additionally, for the confident sorting of radon anomalies and the identification of fault zone parameters necessary to determine their tectonic activity, it is recommended to introduce some changes to the standard radonmetry methodology. It is envisaged to introduce a

special parameter – a coefficient for frozen soils that characterizes the permeability of the medium (the degree of radon emission) after permafrost thawing – (K_{pm}), determined by the formula:

K_{pm} = volumetric radon activity for frozen soils / the same for thawed soils.

This coefficient can characterize both the permafrost itself (including its ice content) and the physical properties of rocks resulting from its tectonic features in the study area. And also, indirectly contributes to the climatic paleoreconstruction of nature, including paleotectonic conditions of sites of future transport and energy facilities.

Conclusion

This paper highlights some practical and methodological issues in organizing and conducting a completely new direction of radonmetry – its implementation at the sites of transport and energy facilities being designed or under construction in the permafrost zone. In particular, the methods of equipping observation points on profiles, possible depths and diameters of wells, as well as the designs of wells and drilling tools themselves are determined.

Additionally, to confidently sort radon anomalies and identify the parameters of fault zones necessary for determining their tectonic activity, it is recommended to introduce a special parameter into the standard radiometry methodology – a coefficient for permafrost soils, characterizing the environment's permeability (the degree of radon emission - K_{pm}) after forced thawing of permafrost. This parameter can also be used for environmental purposes.

Modifying the existing instrumentation for work in low-temperature conditions is also necessary.

REFERENCES

1. Salzano R., Pasini A., Ianniello A., Mazzola M., Traversi R. and Udisti R. High time-resolved radon progeny measurements in the Arctic region (Svalbard islands, Norway) : results and potentialities. *Atmos. Chem. Phys.* Vol. 18, 2018, pp. 6959–6969.
2. Farquharson L.M., Romanovsky V.E., Cable W.L., Walker D.A., Kokelj S.V. and Nicolsky D. Climate Change Drives Widespread and Rapid Thermokarst Development in Very Cold Permafrost in the Canadian High Arctic. *Geophysical Research Letters*. 2019, no. 46, p. 12.
3. Ji M., Kong W., Liang C., Zhou T., Jia H. and Dong X. Permafrost thawing exhibits a greater influence on bacterial richness and community structure than permafrost age in Arctic permafrost soils. *Cryosphere*. 2020, no. 14 (11), pp. 3907–3916.

4. Shengrong Zhang, Doudou Jin, Huijun Jin, Chunhai Li, Hu Zhang, Xiaoyin Jin and Jian Cui. Potential radon risk in permafrost regions of the Northern Hemisphere under climate change : a review. *Earth-Science Reviews*. Vol. 250, March 2024, p. 104684.
5. Chuanlei Liu, Jing Chen, Weihua Zhang and Kurt Ungar. Outdoor Radon Dose Rate in Canada's Arctic amid Climate Change. *Environ Sci Technol*. 2024, Jul 2, no. 58 (26).
6. Seminsky K.Zh. and Demberel S. The first estimations of soil radon activity near faults in Central Mongolia. *Radiation Measurements*. 2013, vol. 49, pp. 19–34.
7. Glover P.W.J. and Blouin M. Increased radon exposure from thawing of permafrost due to climate change. *Earth'sFuture*, 2022, p. 10.
8. Syedin V.L., Bausk Ye.A., Ulyanov V.Yu. and Bikus K.M. *Shkala ocinyuvannya aktivnosti tektonichniz rozlomiv zemnoyi kori za intensivnistyu radonovidilennya – zastosuvannya dlya obyektiv AES* [Scale for assessing the activity of tectonic faults in the earth's crust by the intensity of radon release – application to nuclear power plant facilities]. *Osnovi i fundamenti : mizhvidom. nauk.-tehn. zb. Kiyiv. nac. un-t bud-va i arhit.* [Fundamentals and foundations : interdisciplinary scientific and technical collection]. Kyiv : National University of Construction and Architecture, 2015, no. 37, pp. 52–63. (in Ukrainian).
9. Kovba V.V., Ulyanov V.Yu. and Safronova V.S. *Osoblivosti provedennya radonometriyi z metoyu doslidzhennya sejsmotektoniki na majdanchikah AES u zoni vichnoyi merzloti* [Features of conducting radonometry for the purpose of studying seismotectonics at nuclear power plant sites in the permafrost zone]. *Bezpeka zhittvediyalnosti v XXI stolitti : tezi dopov. X Mizhnarodnoyi naukovopraktichnoyi konferenciyi (21–22 lystopada 2024)* [Life safety in the 21st century : abstracts of the report of the X International Scientific and Practical Conference (November 21–22, 2024)]. Dnipro : USUST, ESI PSACEA, 2024, 109 p. (in Ukrainian).
10. Ulyanov V.Yu. *Shlyahi pidvishennya efektyvnosti termopresiometriyi* [Ways to increase the efficiency of thermopressiometry]. *Nauka ta progres transportu. Visnik Dnipropetrovskogo nacionalnogo universitetu zaliznichnogo transportu* [Science and Progress of Transport. Bulletin of the Dnipropetrovsk National University of Railway Transport]. 2021, no. 2 (92), pp. 84–91. (in Ukrainian).
11. Ye Yongjun, Zong Yifan, Li Mengyi and Song Bangzhi. Free radon production from uranium tailings under frozen and non-frozen conditions. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2023, vol. 334, iss. 3, pp. 2195–2202.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Salzano R., Pasini A., Ianniello A., Mazzola M., Traversi R. and Udisti R. High time-resolved radon progeny measurements in the Arctic region (Svalbard islands, Norway) : results and potentialities. *Atmos. Chem. Phys*. Vol. 18, 2018, pp. 6959–6969.
2. Farquharson L. M., Romanovsky V. E., Cable W. L., Walker D. A., Kokelj S. V., Nicolsky D. Climate Change Drives Widespread and Rapid Thermokarst Development in Very Cold Permafrost in the Canadian High Arctic. *Geophysical Research Letters*. 2019, № 46, p. 12.
3. Ji M., Kong W., Liang C., Zhou T., Jia H. & Dong X. Permafrost thawing exhibits a greater influence on bacterial richness and community structure than permafrost age in Arctic permafrost soils. *The Cryosphere*. 2020, № 14 (11), pp. 3907–3916.
4. Shengrong Zhang, Doudou Jin, Huijun Jin, Chunhai Li, Hu Zhang, Xiaoyin Jin, Jian Cui. Potential radon risk in permafrost regions of the Northern Hemisphere under climate change : a review. *Earth-Science Reviews*. Vol. 250. March 2024. P. 104684.
5. Chuanlei Liu, Jing Chen, Weihua Zhang, Kurt Ungar. Outdoor Radon Dose Rate in Canada's Arctic amid Climate Change. *Environ Sci Technol*. 2024, Jul 2. № 58 (26).
6. Seminsky K. Zh., Demberel S. The first estimations of soil radon activity near faults in Central Mongolia. *Radiation Measurements*. 2013. Vol. 49. Pp. 19–34.
7. Glover P. W. J., Blouin M. Increased radon exposure from thawing of permafrost due to climate change. *Earth'sFuture*. 2022. P. 10.
8. Сєдін В. Л., Бауск Є. А., Ульянов В. Ю., Бікус К. М. Шкала оцінювання активності тектонічних розломів земної кори за інтенсивністю радоновиділення – застосування для об'єктів АЕС. *Основи і фундаменти : міжвидом. наук.-техн. зб. Київ. нац. ун-т буд-ва і архіт.* Київ, 2015. Вип. 37. С. 52–63.
9. Ковба В. В., Ульянов В. Ю., Сафронова В. С. Особливості проведення радонметрії з метою дослідження сейсмотектоніки на майданчиках АЕС у зоні вічної мерзлоти. *Bezpeka zhyttvediyalnosti v XXI stolitti : tezi dopov. X Mizhnar. nauk.-prakt. konf. (21–22 lystopada 2024)*. Дніпро : УДУНТ, ННІ ПДАБА, 2024. 109 с.
10. Ульянов В. Ю. Шляхи підвищення ефективності термопресіометрії. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту*. 2021. № 2 (92). С. 84–91.
11. Ye Yongjun, Zong Yifan, Li Mengyi, Song Bangzhi. Free radon production from uranium tailings under frozen and non-frozen conditions. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2023. Vol. 334, iss. 3. Pp. 2195–2202.

Надійшла до редакції: 12.10.2025.

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
Українського державного університету науки і технологій, 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 27.02.2026 р. Формат 60×84 1/8.

Друк цифровий. Умовн. друк. арк. 10,31. Умовн. фарб.-відб. арк. 10,31.

Обл.-видавн. арк. 20,62. Наклад 50 прим. Зам. 218

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
Ukrainian State University of Science and Technologies, 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 27 February 2026. Format 60×84 1/8.

Digital printing. Conventional quire 10,31. Conventional colour imprints 10,31.

Publisher's signatures 20,62. Number of copies 50. Order 218