

**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**

**№ 3 (027)**  
травень — червень 2025

**Дніпро 2025**

## 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. Сєдін, 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).                                         |
| Свідцтво 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).<br>Виходить 6 разів на рік.                                                                                                                                                                                                                             |
| Рекомендовано до друку                                                                       | вченою радою «Українського університету науки та технологій» протокол № 13 від 25.06.2025.                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Сайт видання                                                                                 | <a href="http://uajcea.pgasa.dp.ua">http://uajcea.pgasa.dp.ua</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 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)<br>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**

**№ 3 (027)**  
May – June 2025

**Dnipro 2025**

## **EDITORIAL STAFF:**

|                     |                                                                                  |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| Chief Editor        | Mykola SAVYTSKYI, Doctor of Engineering Science, <i>USUST, Dnipro</i>            |
| Deputy Chief Editor | Vladyslav DANISHEVSKYI, Doctor of Engineering Science, <i>ESI PSACEA, Dnipro</i> |
| Executive Secretary | Olena TYMOSHENKO, Candidate of Engineering Science, <i>ESI PSACEA, Dnipro</i>    |
| Executive Editor    | 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 Korjaks, 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 IIP – 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".<br><br>Issued 6 times a year.                                                                                                                                                                                                                                          |
| Recommended for publication by                                                                             | Academic Board of the Ukrainian State University of Science and Technologies, no. 13 from 25.06.2025                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Journal website                                                                                            | <a href="http://uajcea.pgasa.dp.ua">http://uajcea.pgasa.dp.ua</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 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)<br>2710-0375 (Online)<br><br><i>Art &amp; Technical Editor</i> Serhii MOISEIENKO<br><i>Editor &amp; Proofreader</i> Olena TYMOSHENKO                                                                                                                                                                                                                        |

## У ЦЬОМУ НОМЕРІ

|                                                                                                                                                                                                                                                  |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Бекетов О. В., Лаухін Д. В., Осипчук М. М., Назаренко О. Д., Лакша В. М.<br>ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ЗАЛЕЖНОСТІ КОЕФІЦІЄНТА ОПОРУ<br>РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ТРІЩИНИ ВІД ПАРАМЕТРІВ СТРУКТУРНОГО СТАНУ<br>НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВОЇ НИЗЬКОЛЕГОВАНОЇ СТАЛІ..... | 7   |
| Беліков А. С., Стрежекуров Ю. Е., Тодоров О. П., Шаломов В. А.<br>ВИКОРИСТАННЯ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ ТА ДАТЧИКІВ<br>ДЛЯ ОЦІНКИ ТЕРМОРАДІАЦІЙНОЇ НАПРУЖЕНОСТІ НА РОБОЧИХ МІСЦЯХ.....                                                             | 16  |
| Бордун М. В.<br>ГЛОБАЛЬНІ ЗАГРОЗИ І ЇХ ВПЛИВ НА МІСТОБУДУВАННЯ.....                                                                                                                                                                              | 22  |
| Гаркуша В. С., Симонов С. І., Павлишин Г. Е.<br>ПЛАНУВАННЯ ПАРКОВИХ ЗОН НА ТЕРИТОРІЇ ЗРУЙНОВАНИХ МІСТ.....                                                                                                                                       | 35  |
| Дікарев Б. М., Дікарев К. Б., Селецький В. В., Коваль В. В., Куценко-Скокова А. О.<br>ПРОПОЗИЦІЇ ДО ЗМІН В КОДИФІКУВАННІ ТА АКТУАЛІЗАЦІЇ ЗАКОНІВ УКРАЇНИ<br>ПРО МІСТОБУДІВНУ ДІЯЛЬНІСТЬ.....                                                     | 43  |
| Дікарев К. Б., Мовчан О. Ю., Куценко-Скокова А. О., Сопільняк А. М., Папірник Р. Б.<br>ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСТОСУВАННЯ НЕЗНІМНОЇ ОПАЛУБКИ<br>ДЛЯ СКОРОЧЕННЯ ТЕРМІНІВ БУДІВНИЦТВА МАЛОПОВЕРХОВИХ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД.....                                 | 50  |
| Дікарев К. Б., Папірник Р. Б., Коваль В. М., Коваль В. В., Ткач Т. В.<br>РОЛЬ ДЕРЖАВНОЇ ПОЛІТИКИ У СТИМУЛЮВАННІ РОЗВИТКУ<br>БУДІВЕЛЬНОЇ ГАЛУЗІ В УКРАЇНІ ПІД ЧАС ВІЙНИ.....                                                                      | 60  |
| Калда Г. С., Шевеля В. В., Рибалка К. А., Рожновски М.<br>АНАЛІЗ ЗМІН У СУЧАСНІЙ СИСТЕМІ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ ЄВРОПЕЙСЬКИХ КРАЇН.....                                                                                                              | 67  |
| Кокошуєв О. П., Самченко Р. В.<br>АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ВИПРОБОВУВАННЯ ГВИНТОВОГО<br>ПАЛЬОВОГО ФУНДАМЕНТУ В МІЖНАРОДНОМУ СТАНДАРТІ BS EN ISO 22477-1:2018.....                                                                                       | 75  |
| Конопляник О. Ю., Жук Д. В.<br>ВПЛИВ ЧАСУ ПЕРЕМІШУВАННЯ БЕТОННИХ СУМІШЕЙ<br>НА МІЦНІСНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОНСТРУКЦІЙНИХ БЕТОНІВ.....                                                                                                               | 81  |
| Конопляник О. Ю., Котов М. А., Лясота О. В., Олейников В. М.<br>ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШОГО ЗАСТОСУВАННЯ ЦЕГЛИ, ВІДБРАНОЇ<br>З БУДІВЕЛЬ І СПОРУД, ПОШКОДЖЕНИХ В РЕЗУЛЬТАТІ ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ.....                                                        | 92  |
| Кравчуновська Т. С., Ковальов В. В., Данилова Т. В., Борисов М. І., Дворніченко А. Д.<br>ОРГАНІЗАЦІЯ І УПРАВЛІННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЄЮ ОБ'ЄКТІВ ЖИТЛОВОЇ НЕРУХОМОСТІ.....                                                                               | 103 |
| Матюшенко С. Ю., Соколов І. А.<br>ОПТИМІЗАЦІЯ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ<br>СПОРУДЖЕННЯ БУДІВЕЛЬ ІЗ УРАХУВАННЯМ МІНІМІЗАЦІЇ ВИТРАТ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ.....                                                                                   | 111 |
| Папірник Р. Б., Дікарев Б. М., Катаєв А. С., Коваль В. В., Каменєв О. С.<br>РОЗРОБКА ПРОПОЗИЦІЙ ЩОДО ВДОСКОНАЛЕННЯ ДЕРЖАВНОЇ ПОЛІТИКИ<br>В СФЕРІ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЖИТЛОВОГО ФОНДУ.....                                                         | 122 |
| Солод Л. В., Ткачова В. В., Прокоф'єва Г. Я., Березюк Г. Г.<br>МОДЕЛЮВАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ ТВЕРДИХ МАТЕРІАЛІВ<br>МЕТОДОМ ДИНАМІЧНОГО КАЛОРИМЕТРА.....                                                                               | 129 |
| Цимбалова Т. А.<br>ОСОБЛИВОСТІ АРХІТЕКТУРНИХ ТРАНСФОРМАЦІЙ СУЧАСНОЇ ЖИТЛОВОЇ ЗАБУДОВИ<br>(НА ПРИКЛАДІ м. ДНІПРО).....                                                                                                                            | 136 |
| Біляєв М. М., Берлов О. В., Кіріченко П. С., Козачина В. А., Тимошенко Л. О.<br>МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛОМАСОПЕРЕНОСУ<br>В ЗАДАЧАХ ОХОРОНИ ПРАЦІ : ПИЛОВЕ ТА ТЕПЛОВЕ ЗАБРУДНЕННЯ.....                                               | 144 |
| Захаров Ю. І., Захаров В. Ю., Захаров І. Ю., Осипчук М. М.<br>МОДЕЛЮВАННЯ ПОШИРЕННЯ АВІАЦІЙНОГО ШУМУ З УРАХУВАННЯМ СПРЯМОВАНOSTІ<br>ЙОГО АКУСТИЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ.....                                                                         | 154 |

## CONTENT

|                                                                                                                                                                                                                                                                           |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Beketov O.V., Laukhin D.V., Osypchuk M.M., Nazarenko O.D., Laksha V.M.<br>CONSTRUCTION OF A MATHEMATICAL MODEL OF THE DEPENDENCE<br>OF THE COEFFICIENT OF RESISTANCE TO CRACK PROPAGATION ON THE PARAMETERS<br>OF THE STRUCTURAL STATE OF LOW-CARBON LOW-ALLOY STEEL..... | 7   |
| Bielikov A.S., Strezhekurov Yu.E., Todorov O.P., Shalomov V.A.<br>IMPROVEMENT OF THERMAL IMAGING CAMERA<br>FOR ASSESSING HEAT FLOW IN WORKPLACES.....                                                                                                                     | 16  |
| Bordun M.V.<br>GLOBAL THREATS AND THEIR IMPACT ON URBAN PLANNING.....                                                                                                                                                                                                     | 22  |
| Harkusha V.S., Simonov S.I., Pavlyshyn G.E.<br>PLANNING OF PARK AREAS ON TERRITORIES OF DESTROYED CITIES.....                                                                                                                                                             | 35  |
| Dikarev B.M., Dikarev K.B., Seletskiy V.V., Koval V.V., Kutsenko-Skokova A.O.<br>PROPOSALS FOR CHANGES IN THE CODIFICATION AND UPDATE<br>OF UKRAINIAN LAWS ON URBAN PLANNING ACTIVITIES.....                                                                              | 43  |
| Dikarev K.B., Movchan O.Yu., Kutsenko-Skokova A.O., Sopilniak A.M., Papirnyk R.B.<br>RESEARCH ON THE USE OF PERMANENT FORMWORK<br>TO REDUCE CONSTRUCTION TIME FOR LOW-RISE BUILDINGS AND STRUCTURES.....                                                                  | 50  |
| Dikarev K.B., Papirnyk R.B., Koval V.M., Koval V.V., Tkach T.V.<br>THE ROLE OF STATE POLICY IN STIMULATING THE DEVELOPMENT<br>OF THE CONSTRUCTION INDUSTRY IN UKRAINE DURING WAR.....                                                                                     | 60  |
| Kalda G.S., Shevelya V.V., Rybalka K.A., Rożnowski M.<br>ANALYSIS OF CHANGES IN THE CURRENT CIVIL PROTECTION SYSTEM<br>OF EUROPEAN COUNTRIES.....                                                                                                                         | 67  |
| Kokoshuyev O.P., Samchenko R.V.<br>ANALYSIS OF THE TESTING TECHNOLOGY FOR SCREW PILE FOUNDATIONS<br>IN THE INTERNATIONAL STANDARD BS EN ISO 22477-1:2018.....                                                                                                             | 75  |
| Konoplianyk O.Yu., Zhuk D.V.<br>INFLUENCE OF MIXING TIME OF CONCRETE MIXTURES<br>ON THE STRENGTH CHARACTERISTICS OF STRUCTURAL CONCRETE.....                                                                                                                              | 81  |
| Konoplianyk O.Yu., Kotov M.A., Lyasota O.V., Oleynikov V.M.<br>PROSPECTS FOR FURTHER APPLICATION OF BRICKS SELECTED FROM BUILDINGS<br>AND STRUCTURES DAMAGED AS A RESULT OF MILITARY ACTIONS.....                                                                         | 92  |
| Kravchunovska T.S., Kovalov V.V., Danylova T.V., Borysov M.I., Dvornichenko A.D.<br>ORGANISATION AND MANAGEMENT OF RESIDENTIAL PROPERTY MAINTENANCE.....                                                                                                                  | 103 |
| Matiushenko S.Yu., Sokolov I.A.<br>OPTIMIZATION OF ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS<br>FOR THE CONSTRUCTION OF BUILDINGS WITH REGARD<br>TO MINIMIZATION OF ENERGY CONSUMPTION.....                                                                              | 111 |
| Papirnyk R.B., Dikarev K.B., Kataev A.S., Koval V.V., Kamieniev O.S.<br>DEVELOPMENT OF PROPOSALS FOR IMPROVING STATE POLICY<br>IN THE FIELD OF ENERGY EFFICIENCY OF THE HOUSING STOCK.....                                                                                | 122 |
| Solod L.V., Tkachova V.V., Prokofieva H.Ya., Bereziuk H.H.<br>MODELING THE STUDY OF SOLID MATERIALS' THERMAL CONDUCTIVITY<br>USING THE DYNAMIC CALORIMETRY METHOD.....                                                                                                    | 129 |
| Tsymbalova T.A.<br>FEATURES OF ARCHITECTURAL TRANSFORMATIONS<br>OF MODERN RESIDENTIAL BUILDING (ON THE EXAMPLE OF DNIPRO).....                                                                                                                                            | 136 |
| Biliaiev M.M., Berlov O.V., Kirichenko P.S., Kozachyna V.A., Tymoshenko L.O.<br>MATHEMATICAL MODELING OF HEAT AND MASS TRANSFER PROCESSES<br>IN SAFETY LABOUR PROBLEMS : DUST AND HEAT POLLUTION.....                                                                     | 144 |
| Zakharov Yu.I., Zakharov V.Yu., Zakharov I.Yu., Osypchuk M.M.<br>MODELLING OF THE PROPAGATION OF AIRCRAFT NOISE, TAKING INTO ACCOUNT<br>THE DIRECTION OF ITS ACOUSTIC RADIATION.....                                                                                      | 154 |

УДК 620.181.4:691.714

DOI: 10.30838/UJCEA.2312.270425.7.1155

## ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ЗАЛЕЖНОСТІ КОЕФІЦІЄНТА ОПОРУ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ТРІЩИНИ ВІД ПАРАМЕТРІВ СТРУКТУРНОГО СТАНУ НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВОЇ НИЗЬКОЛЕГОВАНОЇ СТАЛІ

БЕКЕТОВ О. В.<sup>1\*</sup>, *докт. техн. наук, доц.*,  
ЛАУХІН Д. В.<sup>2</sup>, *докт. техн. наук, проф.*,  
ОСИПЧУК М. М.<sup>3</sup>, *канд. фіз.-мат. наук, доц.*,  
НАЗАРЕНКО О. Д.<sup>4</sup>, *маг.*,  
ЛАКША В. М.<sup>5</sup>, *асп.*

<sup>1\*</sup> Кафедра фундаментальних і природничих дисциплін, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (050) 604-61-86, e-mail: [beketov.oleksandr@pdaba.edu.ua](mailto:beketov.oleksandr@pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0003-0664-0327

<sup>2</sup> Кафедра фундаментальних і природничих дисциплін, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», пр. Дмитра Яворницького, 19, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (050) 585-54-29, e-mail: [Laukhin.D.V@nmu.one](mailto:Laukhin.D.V@nmu.one), ORCID ID: 0000-0002-9842-499X

<sup>3</sup> Кафедра фундаментальних і природничих дисциплін, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (097) 831-65-76, e-mail: [osypchuk.mykola@pdaba.edu.ua](mailto:osypchuk.mykola@pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0002-1524-5479

<sup>4</sup> Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, ORCID ID: 0009-0009-8433-588X

<sup>5</sup> Кафедра матеріалознавства та обробки матеріалів, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, e-mail: [vn7847@gmail.com](mailto:vn7847@gmail.com), ORCID ID: 0009-0004-6401-5495

**Анотація.** Отримання матеріалу з оптимальним поєднанням міцностних властивостей та в'язкості руйнування неможливо без пошуку компромісу як на етапі виробництва, так і на етапі експлуатації. При цьому слід враховувати як технічні можливості виробничих потужностей, так і економічну доцільність використання металопрокату з підвищеним рівнем експлуатаційних властивостей. З цієї точки зору, в першу чергу виникають проблеми у поєднанні ряду бажаних властивостей в одному матеріалі. Так, відомо, що технологічні схеми виробництва, котрі приводять до зростання міцності металопрокату, знижують його в'язкість руйнування. З іншого боку, для високоміцних сталей з високою в'язкістю характерні складні мікроструктури. Саме тому, з'ясування принципів залежностей між структурним станом низьковуглецевих низьколегованих сталей та кінетиною розповсюдження руйнування є актуальною задачею сучасного матеріалознавства. **Мета статті** – побудова математичної моделі взаємозв'язку між коефіцієнтом опору розповсюдження тріщини та параметрами структурного стану низьковуглецевих низьколегованих сталей. **Висновок.** Отримано математичні моделі взаємозв'язку між коефіцієнтом опору розповсюдження тріщини ( $K_{IC}$ ) та параметрами структурного стану низьковуглецевих низьколегованих сталей. Досліджено морфологічні особливості структурного стану низьковуглецевої низьколегованої сталі після різних режимів термічної обробки. Проведений комплекс досліджень показав, що при температурі обробки 650 °C в структурі сталі присутні феритна та перлітна складові. Зниження температури витримки до 600 °C призводить до появи в структурі сталі одночасно с феритною та перлітною також бейнітною складовою. При температурах витримки 550 та 500 °C в структурі сталі присутні лише морфологічні типи бейніту. Зниження температури витримки до 450 та 400 °C призводить до формування в структурі сталі бейнітних та мартенситних складових у різних відсоткових співвідношеннях. Досліджено вплив режимів термічної обробки на комплекс механічних властивостей та на значення коефіцієнту опору розповсюдження тріщини низьковуглецевої низьколегованої сталі. З використанням математичного апарату одномірного регресійного аналізу отримано моделі залежності параметру  $K_{IC}$ : від відсоткового вмісту феритної та перлітної складових у вигляді полінома другого ступеня; від відсоткового вмісту бейнітної та мартенситної складових в експоненціальній формі. З застосуванням математичного апарату множинного регресійного аналізу отримано 3-D модельну залежність параметру  $K_{IC}$  від параметрів структурного стану, які формуються шляхом реалізації дифузійного (відсотковий вміст феритної та перлітної структурних складових) та зсувного (відсотковий вміст бейнітної та мартенситної структурних складових) механізмів перетворення переохолодженого аустеніту низьковуглецевих низьколегованих сталей.

**Ключові слова:** структурний стан; коефіцієнт опору розповсюдження тріщини; математичне моделювання; одномірний регресійний аналіз; множинний регресійний аналіз

## CONSTRUCTION OF A MATHEMATICAL MODEL OF THE DEPENDENCE OF THE COEFFICIENT OF RESISTANCE TO CRACK PROPAGATION ON THE PARAMETERS OF THE STRUCTURAL STATE OF LOW-CARBON LOW-ALLOY STEEL

BEKETOV O.V.<sup>1\*</sup>, *Dr. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*,  
LAUKHIN D.V.<sup>2</sup>, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,  
OSYPCHUK M.M.<sup>3</sup>, *Cand. Sc. (Phys.-Math.), Assoc. Prof.*,  
NAZARENKO O.D.<sup>4</sup>, *Master's degree*,  
LAKSHA V.M.<sup>5</sup>, *PhD Stud.*

<sup>1\*</sup> Department of Fundamental and Natural Sciences, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (050) 604-61-86, e-mail: [beketov.oleksandr@pdaba.edu.ua](mailto:beketov.oleksandr@pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0003-0664-0327

<sup>2</sup> Engineering and Generative Design Department, Dnipro University of Technology, 19, Dmytro Yavornytskyi Ave, Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (050) 585-54-29, e-mail: [d.v.laukhin@gmail.com](mailto:d.v.laukhin@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-9842-499X

<sup>3</sup> Department of Fundamental and Natural Sciences, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (097) 831-65-76, e-mail: [osypchuk.mykola@pdaba.edu.ua](mailto:osypchuk.mykola@pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0002-1524-5479

<sup>4</sup> Department of Materials Science and Processing, 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) 650-90-22, ORCID ID: 0009-0009-8433-588X

<sup>5</sup> Department of Materials Science and Processing, 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) 650-90-22, e-mail: [vn7847@gmail.com](mailto:vn7847@gmail.com), ORCID ID: 0009-0004-6401-5495

**Abstract.** Obtaining a material with an optimal combination of strength properties and fracture toughness is impossible without finding a compromise both at the production stage and at the operation stage. In this case, one should take into account both the technical capabilities of production facilities and the economic feasibility of using rolled metal with an increased level of operational properties. From this point of view, problems first of all arise in combining a number of desired properties in one material. Thus, it is known that technological schemes of production, which lead to an increase in the strength of rolled metal, reduce its fracture toughness. On the other hand, high-strength steels with high toughness are characterized by complex microstructures. That is why, elucidating the fundamental dependencies between the structural state of low-carbon low-alloy steels and the kinetics of fracture propagation is an urgent task of modern materials science. **Purpose of the article.** Construction of a mathematical model of the relationship between the crack propagation resistance coefficient and the parameters of the structural state of low-carbon, low-alloy steels. **Conclusion.** Mathematical models of the relationship between the crack propagation resistance coefficient ( $K_{IC}$ ) and the parameters of the structural state of low-carbon low-alloy steels were obtained. The morphological features of the structural state of low-carbon low-alloy steel after various heat treatment regimes were investigated. The conducted set of studies showed that at a treatment temperature of 650 °C, the steel structure contains ferritic and pearlitic components. Reducing the holding temperature to 600 °C leads to the appearance of a bainite component in the steel structure simultaneously with the ferritic and pearlitic components. At holding temperatures of 550 and 500 °C, only morphological types of bainite are present in the steel structure. Reducing the holding temperature to 450 and 400 °C leads to the formation of bainite and martensitic components in different percentage ratios in the steel structure. The influence of heat treatment regimes on the complex of mechanical properties and on the value of the coefficient of resistance to crack propagation of low-carbon low-alloy steel was investigated. Using the mathematical apparatus of one-dimensional regression analysis, models of the dependence of the  $K_{IC}$  parameter were obtained: on the percentage of ferritic and pearlitic components in the form of a second-degree polynomial; on the percentage of bainite and martensitic components in an exponential form. Using the mathematical apparatus of multiple regression analysis, a 3-D model dependence of the  $K_{IC}$  parameter on the parameters of the structural state, which are formed by implementing the diffusion (percentage of ferritic and pearlitic structural components) and shear (percentage of bainite and martensitic structural components) mechanisms of transformation of supercooled austenite of low-carbon low-alloy steels was obtained.

**Keywords:** structural state; crack propagation resistance coefficient; mathematical modeling; univariate regression analysis; multiple regression analysis



**Постановка проблеми.** Отримання матеріалу з оптимальним поєднанням міцностних властивостей та в'язкості руйнування неможливо без пошуку компромісу як на етапі виробництва, так і на етапі експлуатації. При цьому, слід враховувати як технічні можливості виробничих потужностей, так і економічну доцільність використання металопродукату з підвищеним рівнем експлуатаційних властивостей. З цієї точки зору, в першу чергу виникають проблеми у поєднанні ряду бажаних властивостей в одному матеріалі. Так, відомо (див., наприклад, роботу [1]), що технологічні схеми виробництва, котрі приводять до зростання міцності металопродукату, знижують його в'язкість руйнування. З іншого боку, для високоміцних сталей з високою в'язкістю характерні складні мікроструктури [2]. Саме тому, з'ясування принципів залежностей між структурним станом низьковуглецевих низьколегованих сталей та кінетикою розповсюдження руйнування є актуальною задачею сучасного матеріалознавства.

**Аналіз публікацій.** При експериментальному аналізі процесу руйнування зазвичай одночасно використовують механіку руйнування та методи інженерних розрахунків [3]. Такий підхід дозволяє вибрати матеріал і визначити рівень допустимих напружень з урахуванням впливу дефектів відносно великих (порівняно зі структурними складовими) розмірів [4]. Разом з цим даний підхід має ряд недоліків, основним з яких є необхідність проводити велику кількість експериментальних досліджень для визначення загальних характеристик руйнування [5]. Враховуючі, що такі характеристики залежать від технологічних схем виробництва матеріалів, задача постає досі складною та затратною як з технічної, так і з економічної точок зору. З іншого боку, при інженерних розрахунках працездатності будівельних металевих конструкцій під впливом зовнішнього навантаження часто використовують коефіцієнт опору розповсюдженню тріщини ( $K_{Ic}$ ) [6]. З інженерної точки зору, параметр

$K_{Ic}$  характеризується напруженим станом при вершині тріщини в лінійно-пружному тілі [3]. Однак, при цьому не враховується структурний стан, який надбав матеріал.

**Мета статті** – побудова математичної моделі взаємозв'язку між коефіцієнтом опору розповсюдження тріщини та параметрами структурного стану низьковуглецевих низьколегованих сталей.

**Результати досліджень.** Побудову математичної моделі здійснювали згідно методик, запропонованих в роботах [7; 8]. Для проведення розрахунків застосовувався пакет прикладних програм для статистичної обробки масивів експериментальних даних StatSoftStatistica [9].

У якості матеріалу для дослідження було обрано низьковуглецеву низьколеговану сталь 10Г2ФБ. Експериментальну термічну обробку зразків виконували по схемі, запропонованій в роботі [10]. При цьому, було розширено температурний інтервал ізотермічної витримки в ферито-перлітний та мартенситний діапазони (рис. 1).

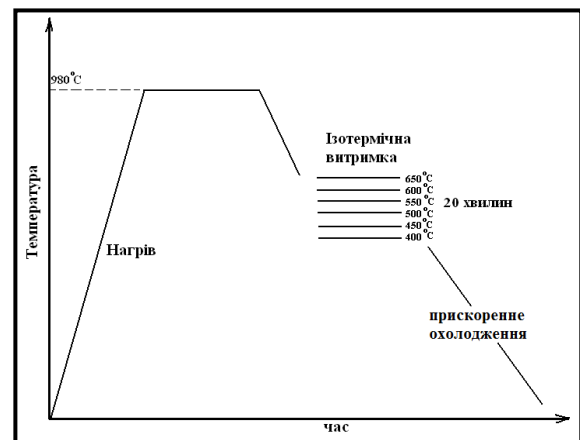


Рис. 1. Експериментальна термічна обробка зразків (за даними роботи [10])

Відповідні результати мікроструктурних досліджень представлено на рисунку 2. Кількісний аналіз відсоткового вмісту структурних складових узагальнено та наведено в таблиці 1.

Результати проведеного комплексу випробувань механічних властивостей зразків сталі 10Г2ФБ після проведених термічних обробок узагальнено та представлено в таблиці 2.

Таблиця 1

**Відсотковий вміст структурних складових\***

| Температура | Відсотковий вміст структурних складових |           |        |           |
|-------------|-----------------------------------------|-----------|--------|-----------|
|             | Ферит                                   | перліт    | Бейніт | Мартенсит |
| 650 °C      | <b>80</b>                               | <b>20</b> | 0      | 0         |
| 600 °C      | 48                                      | 38        | 14     | 0         |
| 550 °C      | 0                                       | 0         | 100    | 0         |
| 500 °C      | 0                                       | 0         | 100    | 0         |
| 450 °C      | 0                                       | 0         | 90     | 10        |
| 400 °C      | 0                                       | 0         | 15     | 85        |

\*частково використано результати, отримані в роботі [10]

Таблиця 2

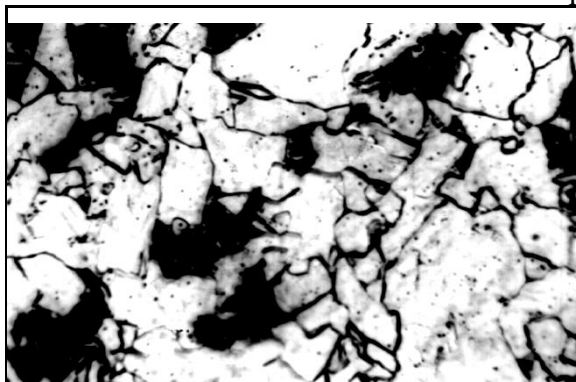
**Залежність комплексу механічних властивостей сталі 10Г2ФБ від температури обробки \***

| Температура | Границя плинності ( $\sigma_Y$ ), МПа | Границя міцності ( $\sigma_T$ ), МПа | Відносне подовження ( $\delta$ ), % | Відносне звуження ( $\psi$ ), % | Ударна в'язкість (KCV <sup>-40</sup> ), Дж/см <sup>2</sup> |
|-------------|---------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------------------------------|
| 650 °C      | 500                                   | 640                                  | 25                                  | 61                              | 60                                                         |
| 600 °C      | 515                                   | 650                                  | 25                                  | 62                              | 62                                                         |
| 550 °C      | 570                                   | 677                                  | 20                                  | 68                              | 64                                                         |
| 500 °C      | 650                                   | 713                                  | 19                                  | 65                              | 75                                                         |
| 450 °C      | 660                                   | 715                                  | 17                                  | 73                              | 60                                                         |
| 400 °C      | 657                                   | 710                                  | 17                                  | 60                              | 42                                                         |

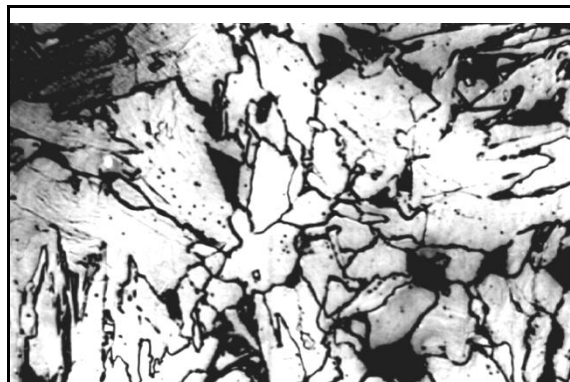
\*частково використано результати, отримані в роботі [10]

Як характеристика, яка показує спроможність низьковуглецевої низьколегованої сталі чинити опір

руйнуванню, обрано коефіцієнт опору розповсюдження тріщини  $K_{IC}$  [3; 6].



*a* ( $\times 1\ 000$ )



*б* ( $\times 1\ 000$ )



*в* ( $\times 1\ 000$ )



*з* ( $\times 1\ 000$ )



д (×1 000)



е (×1 000)

Рис. 2. Мікроструктура сталі 10Г2Ф після витримки 20 хвилин при температурі (частково використано результати, отримані в роботі [10]): а – 650 °С; б – 600 °С; в – 550 °С; г – 500 °С; д – 450 °С; е – 400 °С

Відповідно, для розрахунку параметру  $K_{IC}$  використовували рівняння (1):

Таблиця 3

$$K_{IC} = (\sigma_Y \sqrt{\alpha} / BW) [11,6 - 18,4 (\alpha_o / W) + 87,2 (\alpha_o / W)^2 - 151 (\alpha_o / W)^3 + 157 (\alpha_o / W)^4] \quad (1)$$

де  $\sigma_Y$  – границя плинності;  $\alpha_o$  – початкова довжина тріщини;  $\alpha$  – довжина тріщини;  $B$  – товщина зразка;  $W$  – ширина зразка.

При цьому, приймалися наступні початкові значення:  $\alpha_o = 2,2$  мм;  $\alpha = \alpha_o + 0,25\alpha_o = 2,75$  мм;  $W = 10$  мм;  $B = 10$  мм;  $\sigma_Y$  – границя плинності (дані табл. 2).

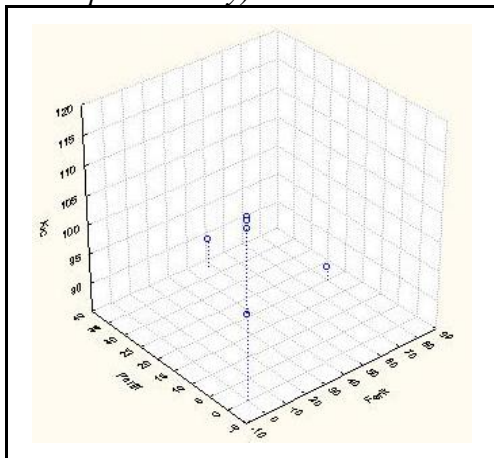
Результати розрахунків узагальнено та представлено у вигляді таблиці 3.

Математичну модель шукали у вигляді: функція відгуку:  $K_{IC} = f$  (незалежні змінні: відсотковий вміст фериту, перліту, бейніту та мартенситу).

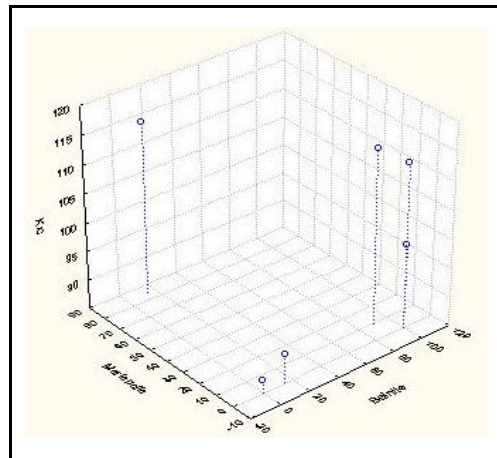
Результати розрахунку параметру  $K_{IC}$

| Температура, °С | $K_{IC}$ , Дж/см <sup>2</sup> | Температура, °С | $K_{IC}$ , Дж/см <sup>2</sup> |
|-----------------|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|
| 650             | 87,31                         | 500             | 113,51                        |
| 600             | 89,93                         | 450             | 115,25                        |
| 550             | 99,53                         | 400             | 114,73                        |

Для встановлення типу та тісноти зв'язку між змінними між коефіцієнтом опору розповсюдження руйнування та параметрами структурного стану було виконано попарний кореляційний аналіз (множинна кореляція), результати якого представлено на рисунку 3. Отримані дані свідчать про наявність стохастичного зв'язку між функцією відгуку та незалежними змінними.



а

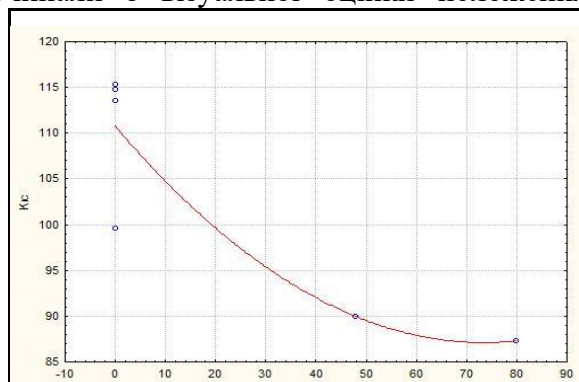


б

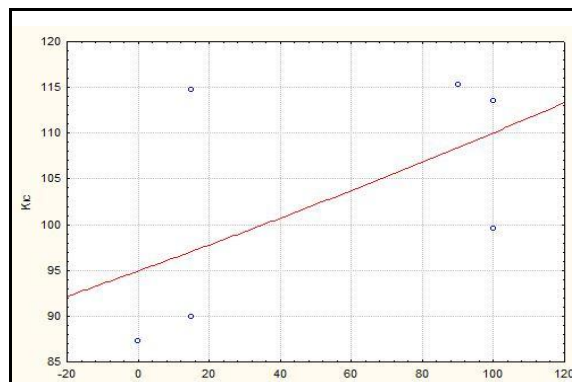
Рис. 3. Результати попарного кореляційного аналізу: а –  $K_{IC}$  як функція відсоткового вмісту феритної та перлітної структурних складових; б –  $K_{IC}$  як функція відсоткового вмісту бейнітної та мартенситної структурних складових

Для побудови математичної моделі використовували математичний апарат одномірного та множинного регресійного аналізів. Одномірний регресійний аналіз починали з візуальної оцінки положення

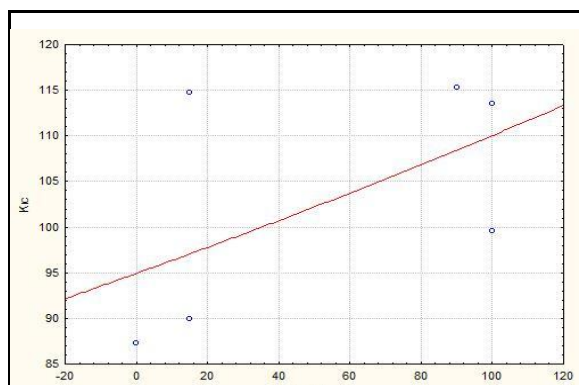
даних, результати якої наведено на рисунку 4. Отримані на підставі цих даних регресійні рівняння узагальнено та представлено у таблиці 4.



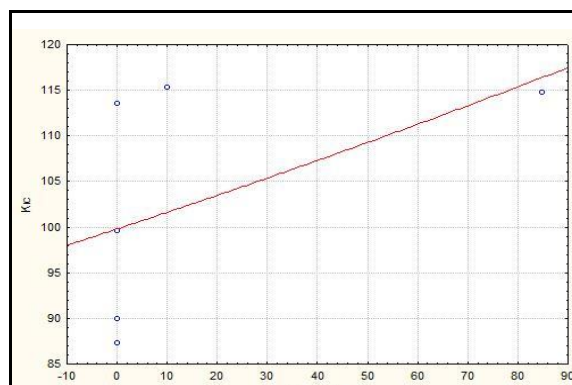
а



б



в



г

Рис. 4. Графічна інтерпретація залежностей, які моделюються: а –  $K_{IC}$  як функція відсоткового вмісту феритної складової; б –  $K_{IC}$  як функція відсоткового вмісту перлітної складової; в –  $K_{IC}$  як функція відсоткового вмісту бейнітної складової; г –  $K_{IC}$  як функція відсоткового вмісту мартенситної складової

Таблиця 4

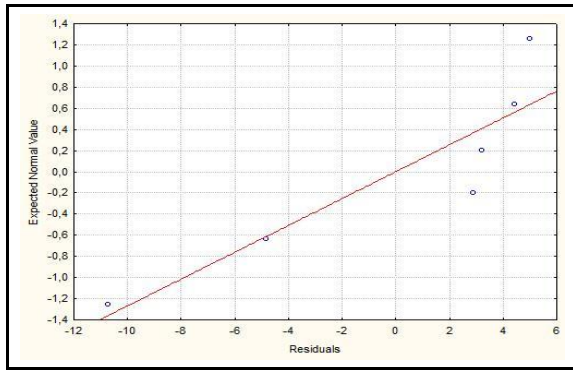
Отримані математичні моделі залежності  $K_{IC}$ 

| Незалежна змінна             | Зовнішній вид рівняння                       | Коефіцієнти рівняння |         |        |
|------------------------------|----------------------------------------------|----------------------|---------|--------|
|                              |                                              | $b_0$                | $b_1$   | $b_2$  |
| відсотковий вміст фериту     | $K_{IC} = b_0 + b_1 \cdot x + b_2 \cdot x^2$ | 110,76               | -0,6452 | 0,0044 |
| відсотковий вміст перліту    | $K_{IC} = b_0 + b_1 \cdot x + b_2 \cdot x^2$ | 110,76               | -1,8662 | 0,0347 |
| відсотковий вміст бейніту    | $K_{IC} = b_0 \cdot \exp(b_1 \cdot x)$       | 94,9169              | 0,0015  | –      |
| відсотковий вміст мартенситу | $K_{IC} = b_0 \cdot \exp(b_1 \cdot x)$       | 99,7913              | 0,0018  | –      |

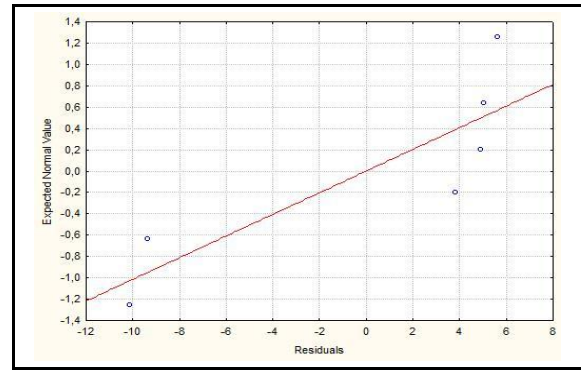
Для аналізу адекватності отриманої моделі використовувався квазіньютонівський метод залишків, тобто графік розподілу залишків на нормальному

імовірнісному папері. Оцінку адекватності отриманих моделей представлено на рисунку 5.

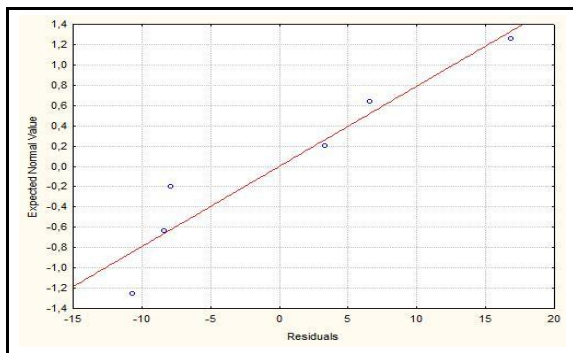




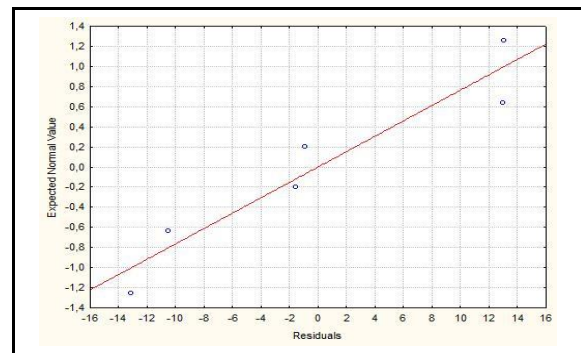
*a*



*б*



*в*

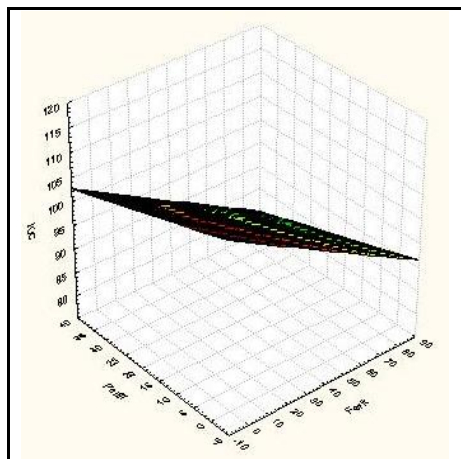


*г*

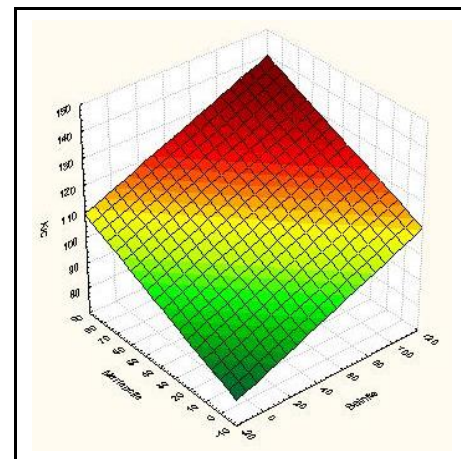
Рис. 5. Перевірка адекватності отриманих моделей: *a* –  $K_{IC}$  як функція відсоткового вмісту феритної складової; *б* –  $K_{IC}$  як функція відсоткового вмісту перлітної складової; *в* –  $K_{IC}$  як функція відсоткового вмісту бейнітної складової; *г* –  $K_{IC}$  як функція відсоткового вмісту мартенситної складової

Аналіз отриманих даних показує, що залишки лягають на пряму, яка відповідає нормальному закону розподілу. Це є

підтвердженням того факту, що побудовані моделі адекватно описують зв'язок між функцією відгуку і незалежними змінними.



*a*



*б*

Рис. 6. Результати 3-D моделювання: *a* –  $K_{IC}$  як функція відсоткового вмісту феритної та перлітної структурних складових; *б* –  $K_{IC}$  як функція відсоткового вмісту бейнітної та мартенситної структурних складових

Для отримання 3-D візуалізації залежності коефіцієнту опору розповсюдження тріщини від відсоткового вмісту структурних складових було застосовано математичний апарат

множинного регресійного аналізу. При цьому, була отримана модельна залежність  $K_{IC}$  від незалежних змінних:

- відсоткового вмісту феритної та перлітної складової;

- відсоткового вмісту бейнітної та мартенситної складової.

Запропонований підхід дозволяє графічно представити досліджувані залежності (див. рис. 6).

### Висновки

1. Отримано математичні моделі взаємозв'язку між коефіцієнтом опору розповсюдження тріщини ( $K_{IC}$ ) та параметрами структурного стану (відсотковий вміст фериту, перліту, бейніту та мартенситну) низьковуглецевих низьколегованих сталей.

2. Досліджено морфологічні особливості структурного стану низьковуглецевої низьколегованої сталі після різних режимів термічної обробки. Проведений комплекс досліджень показав, що при температурі обробки 650 °C в структурі сталі присутні феритна та перлітна складові. Зниження температури витримки до 600 °C призводить до появи в структурі сталі одночасно с феритною та перлітною також бейнітної складової. При температурах витримки 550 °C та 500 °C в структурі сталі присутні лише морфологічні типи бейніту. Зниження температури витримки до 450 °C та 400 °C призводить до формування в структурі сталі бейнітних та мартенситних складових у різних відсоткових співвідношеннях.

3. Досліджено вплив режимів термічної обробки на комплекс механічних властивостей низьковуглецевої низьколегованої сталі.

4. Визначено значення коефіцієнту опору розповсюдження тріщини в залежності від температури термічної обробки низьковуглецевої низьколегованої сталі. Показано, що зі зменшенням температури термічної обробки значення параметру  $K_{IC}$  збільшуються.

5. З використанням математичного апарату одномірного регресійного аналізу отримано моделі залежності параметру  $K_{IC}$  від відсоткового вмісту феритної та перлітної складових у вигляді полінома другого ступеня; від відсоткового вмісту бейнітної та мартенситної складових в експоненціальній формі.

6. З застосуванням математичного апарату множинного регресійного аналізу отримано 3-D модельну залежність параметру  $K_{IC}$  від параметрів структурного стану, які формуються шляхом реалізації дифузійного (відсотковий вміст феритної та перлітної структурних складових) та зсувного (відсотковий вміст бейнітної та мартенситної структурних складових) механізмів перетворення переохолодженого аустеніту низьковуглецевих низьколегованих сталей.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Beketov O., Laukhin D., Rott N., Schudro A. The Elaboration of Modernized Technology of Controlled Rolling Directed at the Formation of High Strengthening and Viscous Qualities in HSLA Steel. *Solid State Phenomena*. 2019. Vol. 291. Pp. 13–19. URL: <https://www.scientific.net/SSP.291.13>
2. DeArdo A. J. Modern Thermomechanical Processing of Microalloyed Steel. *Proceedings of the International Conference «Microalloying '95»*. Pittsburgh, 1995. Pp. 15–35. URL: <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1290575>
3. Бекетов О. В., Большаков В. І., Лаухін Д. В., Іванцов С. В., Лаухін В. Д. Дослідження взаємозв'язку між характеристиками руйнування та структурними складовими низьковуглецевих мікролегованих сталей. *Металознавство та термічна обробка металів*. 2016. № 1 (72). С. 53–58. URL: <http://mtom.pgasa.dp.ua/article/view/53-58>
4. Остап О. П. Механіка руйнування і міцність матеріалів: в 15 т. Львів : СПОЛОМ, 2015. Т. 15. Структура матеріалів і втомна довговічність елементів конструкцій. 312 с. URL: <https://nvd-nanu.org.ua/a3a4e91e-835e-066a-89be-cbc8efc5464a/>
5. Холявко В. В. Фізичні основи міцності та руйнування: Конспект лекцій. Київ : НТУУ «КПІ», 2015. 100 с. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/04953190-41e3-4cd6-aa9e-92aa9ffe74ed/content>
6. Цурпал І. А. Механіка матеріалів і конструкцій. Київ : Вища освіта, 2005. 367 с. URL: <https://newlibrary.snau.edu.ua/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=88556>
7. Єріна А. М. Статистичне моделювання та прогнозування. Київ : КНЕУ, 2001. 170 с. URL: <https://www.gmdh.net/articles/theory/zmErina.htm>

8. Miele A., Damoulakis J. N., Cloutier J. R., Tietze J. L. Sequential gradient-restoration algorithm for optimal control problems with nondifferential constraints. *JOTA*. 1974. № 2. Pp. 13. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Sequential-gradient-restoration-algorithm-for-Miele-Pritchard/97a2300ba1f9bea68c07e8ff1ac75d4ca46800a4>
9. Програмний комплекс StatSoftStatistika. URL: <https://statsoft.com>
10. Бекетов О. В., Лаухін Д. В., Осипчук М. М., Зваричук З. В., Нестеркін О. О. Дослідження тонкої структури продуктів проміжного та зсувного механізмів перетворення аустеніту низьковуглецевих низьколегованих сталей. *Український журнал будівництва та архітектури*. 2025. № 1 (025). С. 7–16 URL: <http://uajcea.pgasa.dp.ua/issue/view/18970/11943>
11. Laukhin D. V., Beketov O. V., Rott N. O., Tyuterev I. A., Ivantsov S. V., Laukhin V. D. The Analysis of Interrelation between Kinetics of Propagation of Plastic Deformation and Initiation of Ductile Fracture. *Metallofiz. Noveishie Tekhnol.* 2017. Vol. 39, № 10. Pp. 1335–1343. URL: <https://mfint.imp.kiev.ua/en/abstract/v39/i10/1335.html>

## REFERENCES

1. Beketov O., Laukhin D., Rott N. and Schudro A. The Elaboration of Modernized Technology of Controlled Rolling Directed at the Formation of High Strengthening and Viscous Qualities in HSLA Steel. *Solid State Phenomena*. 2019, vol. 291, pp. 13–19. URL: <https://www.scientific.net/SSP.291.13>
2. DeArdo A.J. Modern Termomechanical Processing of Microalloyed Steel. *Proceedings of the International Conference 'Microalloying '95'*. Pittsburgh, 1995, pp. 15–35. URL: <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1290575>
3. Beketov O.V., Bolshakov V.I., Laukhin D.V., Ivantsov S.V. and Laukhin V.D. *Doslidzhennia vzaïmozv'язku mizh kharakterystykamy ruïnuvannia ta strukturnymy skladovymy nyzkovuhletsevykh mikrolehovanykh stalei* [Research on the relationship between fracture characteristics and structural components of low-carbon microalloyed steels]. *Metaloznavstvo ta termichna obrobka metaliv* [Metallurgy and Heat Treatment of Metals]. 2016, no. 1 (72), pp. 53–58. URL: <http://mtom.pgasa.dp.ua/article/view/53-58> (in Ukrainian).
4. Ostash O.P. *Mekhanika ruïnuvannia i mitsnist materialiv : v 15 t* [Fracture mechanics and strength of materials : in 15 vol.]. 2015, vol. 15, Lviv : SPOLOM publ., 312 p. URL: <https://nvd-nanu.org.ua/a3a4e91e-835e-066a-89be-cbc8efc5464a/> (in Ukrainian).
5. Kholiavko V.V. *Fizychni osnovy mitsnosti ta ruïnuvannia. Konspekt leksii* [Physical foundations of strength and fracture. Lecture notes]. 2015, Kyiv : NTUU “KPI”, 100 p. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/04953190-41e3-4cd6-aa9e-92aa9ffe74ed/content> (in Ukrainian).
6. Tsurpal I.A. *Mekhanika materialiv i konstruktsii* [Mechanics of materials and structures]. Kyiv : Vyshcha Osvita Publ., 2005. 367 p. URL: <https://newlibrary.snau.edu.ua/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=88556> (in Ukrainian).
7. Yerina A.M. *Statystychni modeliuvannia ta prohnozuvannia* [Statistical modeling and forecasting]. Kyiv : KNEU Publ., 2001, 170 p. URL: <https://www.gmdh.net/articles/theory/zmErina.htm> (in Ukrainian).
8. Miele A., Damoulakis J.N., Cloutier J.R. and Tietze J.L. Sequential gradient-restoration algorithm for optimal control problems with nondifferential constraints. *JOTA*. 1974, no. 2, pp. 13. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Sequential-gradient-restoration-algorithm-for-Miele-Pritchard/97a2300ba1f9bea68c07e8ff1ac75d4ca46800a4>
9. *Prohramnyi kompleks StatSoftStatistika* [StatSoftStatistika software package]. URL: <https://statsoft.com> (in Ukrainian).
10. Beketov O.V., Laukhin D.V., Osypchuk M.M., Zvarychuk Z.V. and Nesterkin O.O. *Doslidzhennia tonkoi struktury produktiv promizhnogo ta zsuвного mekhanizmiv peretvorennia austenitu nyzkovuhletsevykh nyzkolehovanykh stalei* [Investigation of the fine structure of products of intermediate and shear mechanisms of austenite transformation of low-carbon low-alloy steels]. *Ukrayins'kyi zhurnal budivnytstva ta arkhitektury* [Ukrainian Journal of Civil Engineering and Architecture]. 2025, no. 1 (025), pp. 7–16. URL: <http://uajcea.pgasa.dp.ua/issue/view/18970/11943> (in Ukrainian).
11. Laukhin D.V., Beketov O.V., Rott N.O., Tyuterev I.A., Ivantsov S.V. and Laukhin V.D. The Analysis of Interrelation between Kinetics of Propagation of Plastic Deformation and Initiation of Ductile Fracture. *Metallofiz. Noveishie Tekhnologii*. 2017, vol. 39, no. 10, pp. 1335–1343. URL: <https://mfint.imp.kiev.ua/en/abstract/v39/i10/1335.html>

Надійшла до редакції: 01.04.2025.

УДК 658.382:613.64:621.8.035

DOI: 10.30838/UJCEA.2312.270425.16.1156

## ВИКОРИСТАННЯ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ ТА ДАТЧИКІВ ДЛЯ ОЦІНКИ ТЕРМОРАДІАЦІЙНОЇ НАПРУЖЕНОСТІ НА РОБОЧИХ МІСЦЯХ

БЕЛІКОВ А. С.<sup>1</sup>, *докт. техн. наук, проф.*,

СТРЕЖЕКУРОВ Ю. Е.<sup>2\*</sup>, *асп.*

ТОДОРОВ О. П.<sup>3</sup>, *асп.*,

ШАЛОМОВ В. А.<sup>4</sup>, *канд. техн. наук, доц.*

<sup>1</sup> 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](mailto:belikov@pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0001-5822-9682

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

<sup>3</sup> 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 (067) 523-22-55, e-mail: [5232255@gmail.com](mailto:5232255@gmail.com), ORCID ID: 0009-0003-2274-0560

<sup>4</sup> Кафедра охорони праці, цивільної та техногенної безпеки, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-34-73, e-mail: [shalomov.volodymyr@pdaba.edu.ua](mailto:shalomov.volodymyr@pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0002-6890-932X

**Анотація. Постановка проблеми.** У сучасному світі, де висока технологічність та індустріалізація відіграють ключову роль у багатьох галузях, безпека праці та управління ризиками на робочому місці стають все важливішими питаннями. Один з найважливіших аспектів безпеки праці – це дослідження та контроль шкідливого впливу надмірного тепла та теплового випромінювання на робочому місці. Надмірне тепло та теплове випромінювання можуть мати серйозні негативні наслідки для здоров'я та безпеки працівників. Вони можуть спричиняти тепловий стрес, опіки, гострі та хронічні захворювання, а також збільшувати ризик нещасних випадків на робочому місці. Тому важливо мати належні вимірювальні прилади та методики для вимірювання цих параметрів. Що допомагає підвищити ефективність досліджень та забезпечити належний рівень безпеки на робочому місці. Також дозволяє фахівцям та початківцям з безпеки праці і управління ризиками вибрати відповідні прилади для методики проведення досліджень. Існують певні виклики та проблеми, пов'язані з температурою, опромінюванням та тепловим навантаженням на робочих місцях. Найважчі виклики та методи дослідження можуть бути недостатньо ефективними або незадовольняти потреби інженерів та дослідників для точного визначення рівня теплового впливу. **Мета статті** – Комплексне порівняння різних приладів, їх технічних можливостей та налаштування для дослідження надмірного впливу тепла та теплового випромінювання на робочому місці. **Висновок.** Радіометри і теплові камери є схожими пристроями, однак є різниця полягає у тому що: радіометри вимірюють інтенсивність випромінювання в видимому, інфрачервоному та радіочастотному діапазоні і генерують числові дані, які можуть бути оброблені та використані для аналізу. У свою чергу теплові камери візуально відображають на екрані розподіл лише інфрачервоного випромінювання поверхні об'єктів. Радіометри і теплові камери мають схожу функцію вимірювання теплового випромінювання, але застосовуються для різних завдань та ситуацій. Напів-провідникові термометри та терморезистори є складовими частинами складних цифрових вимірювальних пристроїв але також можуть використовуватись як самостійні зовнішні датчики температури.

**Ключові слова:** високотемпературні джерела випромінювання; алгоритм проведення калібровки терморезисторів; радіометр; теплові камери; калориметричні потокоміри; термометри.; паспортизація робочого місця

## IMPROVEMENT OF THERMAL IMAGING CAMERA FOR ASSESSING HEAT FLOW IN WORKPLACES

BIELIKOV A.S.<sup>1</sup>, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,

STREZHEKUROV Yu.E.<sup>2\*</sup>, *Postgrad. Stud.*,

TODOROV O.P.<sup>3</sup>, *Postgrad. Stud.*,

SHALOMOV V.A.<sup>4</sup>, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*



<sup>1</sup> 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: [bgd@mail.pdaba.edu.ua](mailto:bgd@mail.pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0001-5822-9682

<sup>2\*</sup> 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: [staty.mail.ua@gmail.com](mailto:staty.mail.ua@gmail.com), ORCID ID: 0009-0002-1791-395X

<sup>3</sup> 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 (067) 523-22-55, e-mail: [5232255@gmail.com](mailto:5232255@gmail.com), ORCID ID: 0009-0003-2274-0560

<sup>4</sup> 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) 756-34-57, e-mail: [shalomov.volodymyr@pdaba.edu.ua](mailto:shalomov.volodymyr@pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0002-6890-932X

**Abstract. Problem statement.** In the modern world, where high technology and industrialization play a crucial role in many sectors, occupational safety and risk management in the workplace are becoming increasingly important issues. One of the most critical aspects of occupational safety is the study and control of the harmful effects of excessive heat and thermal radiation in the workplace. Excessive heat and thermal radiation can have serious negative consequences for the health and safety of workers. They can cause heat stress, burns, acute and chronic illnesses, and also increase the risk of accidents in the workplace. Therefore, it is important to have proper measuring instruments and methodologies for measuring these parameters. This helps to enhance the effectiveness of research and ensure an adequate level of safety in the workplace. It also enables safety and risk management professionals and novices to select the appropriate instruments for research methodologies. There are specific challenges and issues related to temperature, radiation, and thermal loads in workplaces. Existing research instruments and methodologies may be insufficiently effective or fail to meet the needs of engineers and researchers for accurately determining the level of thermal impact. **The main objectives include** – comprehensive comparison of various devices, their technical capabilities, and settings for studying the excessive impact of heat and thermal radiation in the workplace. **Conclusion.** Radiometers and thermal cameras are similar devices; however, the difference lies in the fact that radiometers measure the intensity of radiation in the visible, infrared, and radio frequency ranges and generate numerical data that can be processed and used for analysis. In contrast, thermal cameras visually display on the screen only the distribution of infrared radiation from the surfaces of objects. Radiometers and thermal cameras have a similar function of measuring thermal radiation but are used for different tasks and situations. Semiconductor thermocouples and thermistors are components of complex digital measuring devices but can also be used as standalone external temperature sensors.

**Keywords:** high-temperature radiation sources; thermistor calibration algorithm; radiometer; thermal cameras; calorimetric flowmeters; thermometers; workplace passportization

**Постановка проблеми.** У сучасному світі, де висока технологічність та індустріалізація відіграють ключову роль у багатьох галузях, безпека праці та управління ризиками на робочому місці стають все важливішими питаннями. Один з найважливіших аспектів безпеки праці - це дослідження та контроль шкідливого впливу надмірного тепла та теплового випромінювання на робочому місці.

Надмірне тепло та теплове випромінювання можуть мати серйозні негативні наслідки для здоров'я та безпеки працівників. Вони можуть спричиняти тепловий стрес, опіки, гострі та хронічні захворювання, а також збільшувати ризик нещасних випадків на робочому місці. Тому важливо мати належні вимірювальні прилади та методики для вимірювання цих параметрів [2]. Що допомагає підвищити ефективність досліджень та забезпечити належний рівень безпеки на робочому місці. Також дозволяє фахівцям та

початківцям з безпеки праці і управління ризиками вибрати відповідні прилади для методики проведення досліджень.

**Аналіз публікацій.** Існують певні виклики та проблеми, пов'язані з температурою, опромінюванням та тепловим навантаженням на робочих місцях. Наявні прилади та методи дослідження можуть бути недостатньо ефективними або незадовольняти потреби інженерів та дослідників для точного визначення рівня теплового впливу [3; 4].

**Мета дослідження** – комплексне порівняння різних приладів, їх технічних можливостей та налаштування для дослідження надмірного впливу тепла та теплового випромінювання на робочому місці.

**Результати досліджень.** Для дослідження шкідливого впливу надмірного тепла та теплового випромінювання на робочому місці на підприємствах, існує декілька приладів, які можна використовувати. Деякі з них включають: радіометри, теплові камери,

теплові дозимитри, безконтактні термометри та напів провідникові терморезистори [1].

1. Радіометри є приладами, призначеними для вимірювання інтенсивності теплового випромінювання. Які використовуються для оцінки теплових навантажень або вимірювання температури поверхні об'єктів. Варто зазначити, що переваги та недоліки будуть залежати від конкретної моделі та виробника радіометрів. Радіометри можуть бути різних типів залежно від принципу дії та методу вимірювання теплового випромінювання [1]. Основні деякі загальні типи радіометрів включають наступні:

- Радіометри на основі пірозондів використовують теплочутливі пірозонди, які реагують на теплове випромінювання об'єктів і генерують електричний сигнал, який відповідає температурі.

Переваги: висока стійкість до високих температур та екстремальних умов; вимірювання високих температур з високою точністю.

Недоліки: складніша конструкція та висока вартість пристроїв; обмежений діапазон вимірювання температур; вплив емісійних властивостей поверхні об'єкта на точність вимірювань.

- Оптичні пірометри використовуються для вимірювання температур віддалених об'єктів оптичні системи для фокусування теплового випромінювання на детекторі, що дозволяє використовувати для вимірювання температур на великій відстані [1].

Переваги: безконтактне вимірювання температури з віддалі; задовільна точність вимірювань температури; здатність вимірювати високі температури.

Недоліки: обмежений діапазон вимірювання температур; вплив атмосферних умов та забруднень повітряного середовища на точність вимірювань; потреба у прямій видимості до об'єкта.

2. Теплові камери, також відомі як інфрачервоні камери або термальні камери, є пристроями, призначеними для вимірювання та візуалізації теплових розподілів на поверхні об'єктів [1]. Основні типи теплових камер включають наступні:

- Суперпровідні теплові камери використовують особливі матеріали, які проявляють нульовий електричний опір при

дуже низьких температурах. Це дозволяє досягти високої чутливості і низького рівня шуму в теплових камерах. Суперпровідні детектори забезпечують високу роздільну здатність і швидкість зчитування, що робить їх ефективними для динамічних досліджень теплових процесів.

Переваги: суперпровідні детектори мають високу чутливість до інфрачервоного випромінювання, що дозволяє виявляти слабкі теплові сигнали; висока роздільна здатність; суперпровідні детектори мають малий розмір елементів, що дозволяє досягти високої роздільної здатності в теплових зображеннях; швидкість зчитування; суперпровідні детектори забезпечують швидке зчитування даних, що дозволяє використовувати їх для динамічних досліджень теплових процесів.

Недоліки: потребують низьких температур; суперпровідні теплові камери потребують дуже низьких температур для забезпечення своєї суперпровідної властивості, що може вимагати складних систем охолодження; висока вартість; використання суперпровідних матеріалів та технологій призводить до високої вартості суперпровідних теплових камер.

3. Калориметричні потокоміри є пристроями, які використовуються для вимірювання доз теплового випромінювання, яка отримується протягом певного часу. Використовуючи термопари для точного вимірювання різниці температур, пропорційної тепловому потоку [1].

Переваги: основними перевагами такого підходу є висока точність, надійність та широкий діапазон вимірювання - до 10 000 Вт/м². Це дозволяє застосовувати HFM-375 для контролю теплових потоків у будівлях, промислових процесах тощо.

Недоліки: калориметричні потокоміри громіздкими та потребують більше часу для встановлення, ніж інші типи датчиків. Також вони потребують регулярного обслуговування та калібрування для підтримання заявлених характеристик.

4. Термометри є важливими приладами для вимірювання температури повітря, поверхонь або об'єктів на робочому місці та у робочому просторі. Існує кілька сучасних типів термометрів, які можуть бути використані залежно від потреб і умов дослідження [1]:

– Електронні термометри використовують електронні сенсори, такі як терморезистори або термопари, для вимірювання температури. Вони можуть мати цифровий дисплей, який відображає точну виміряну температуру. Електронні термометри зазвичай мають широкий діапазон вимірювання і високу точність.

Переваги: широкий діапазон вимірювання температури; висока точність вимірювання; швидка реакція на зміни температури; можливість зручного відображення виміряної температури на цифровому дисплеї.

Недоліки: потребують джерела живлення, такого як батарея; необхідність калібрування для забезпечення точності вимірювання.

– Безконтактні термометри вимірюють температуру без прямого контакту з об'єктом. Вони використовують інфрачервоне випромінювання, щоб оцінити теплову енергію, яку випромінює об'єкт. Безконтактні термометри зручні для вимірювання температури об'єктів, які знаходяться на великій відстані або важкодоступних місцях [1].

Переваги: безпечність не вимагають прямого контакту з об'єктом; швидкість вимірювання температури поверхні; можуть бути використані для вимірювання великих відстаней або на важкодоступних місцях; портативність.

Недоліки: менша точність порівняно з іншими типами термометрів; вплив зовнішніх факторів повітряного середовища; потребує знання правильного відстані та кута спрямування для точного вимірювання; потребують джерела живлення; вимірюють лише точково температуру поверхні.

5. Терморезистори є одним з найпоширеніших типів електронних сенсорів для вимірювання температури. Вони являють собою резистори, опір яких змінюється залежно від температури навколишнього середовища. Це дозволяє використовувати терморезистори для точного вимірювання температурних параметрів [1].

Переваги: широкий діапазон вимірюваних температур; висока точність і стабільність показань; швидка реакція на зміни температури; простота конструкції та низька вартість.

Недоліки: необхідність калібрування для забезпечення точності.

Оскільки точність моніторингу теплових полів на робочих місцях є критично важливою для забезпечення безпеки та комфорту працівників. Серед таких пристроїв особливе місце займають терморезистори завдяки їх простоті, надійності та доступній вартості. Проте для отримання достовірних даних про температурні характеристики необхідно ретельно підходити до процесу калібрування терморезисторів перед введення в експлуатацію систему вимірювання та контролю параметрів. Саме це питання розкрито у наступній частині статті.

При проведенні нашого дослідження просторового розповсюдження і проникнення теплових полів, було проведено калібрування та зчитування показників терморезисторів. У роботі запропоновано використовувати термодатчиків типу терморезистор з NTC-чипів моделі SMD NTC Thermistors BE50K3S40473ABEAA. Терморезистори цього типу мають такі технічні характеристики: діапазон вимірювань від  $-55$  до  $+150$  °C; невеликі розміри датчиків ( $5 \times 5 \times 3$  мм), що дозволяє їх установлювати всередині об'єктів; допустима похибка виміру  $\pm 0,15$  °C.

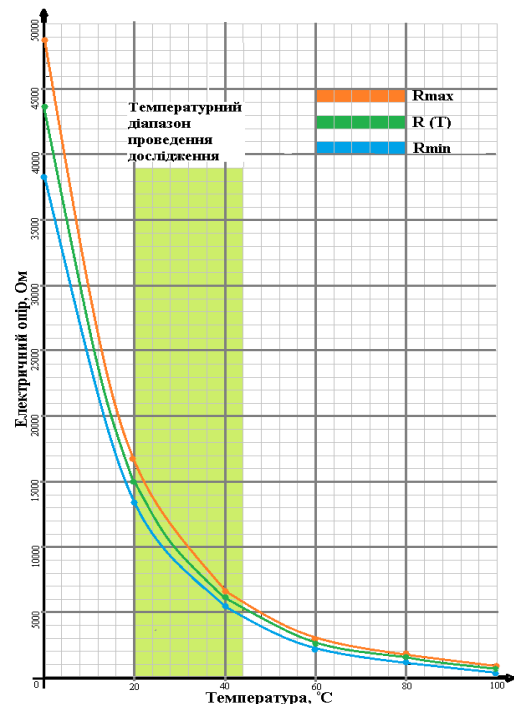


Рис. 1. Індивідуальні калібрувальні криві терморезисторів у калібрувальній камері нагріву відповідно до температури камери при нагрівання від 0 до 100 °C

З огляду на використання терморезисторів для вимірювання температури, калібрування здійснюватиметься наступним чином:

- терморезистори калібруються шляхом порівняння з еталонними термометрами при нагріванні та охолодженні з різних температур з інтервалом 10 °C від 20 до 100 °C;

- для цього створюється термостатна камера з можливістю установки термопар та термометрів;

- отримані дані використовують для побудови калібрувальних кривих залежності сигнал-температура для кожного терморезистора. А саме:

- терморезистори були розподілені на 3 групи по 52 штук;

- кожен групу поміщали в калібрувальну камеру нагріву окремо;

- проводили 5 циклів нагрівання-охолодження в діапазоні 0–100 °C із фіксацією температури та сигналів кожної термопари;

- отримані дані апроксимували методом найменших квадратів для побудови індивідуальних залежностей сигнал – температура;

- додатково кожен терморезистор «калібрували» при трьох рівнях температури для побудови калібрувальних точок;

- індивідуальні калібрувальні криві зберігалися в пам'яті комп'ютера для подальшої корекції вимірів (рис. 1);

- періодично при використанні для досліджень і переміщені між різними підприємствами проводиться повторне калібрування для врахування зміни чутливості;

- дані з терморезисторів порівнювались з фіксаціями з інфракамери для додаткової перевірки;

- результати калібрувань використовуються для нормування даних терморезисторів перед подальшим аналізом розподілу температур;

- дослідження проводились з урахуванням температури сприйняття тіла людини до максимальної температури 40–45 °C.

Для визначення реальної вимірювальної температури  $R(T)$  потрібно визначити коефіцієнт чутливості терморезистора  $\beta$ .

Коефіцієнт чутливості терморезистора  $\beta$  розрахований нами на основі вимірюного опору терморезисторів при двох значень температури. Отже для терморезисторів BE50K3S40473ABEAA розраховано коефіцієнт температурної корекції на основі електричного опору при температурі 200 °C та 1 000 °C за допомогою рівняння Стейнхарта – Харта, де температура представлена у Кельвінах за формулою:

$$\beta = \frac{\ln(R1) - \ln(R2)}{\frac{1}{T1} - \frac{1}{T2}} [\text{Ом/K}] \quad (1)$$

де  $T1$  – температура першого заміру за допомогою терморезистора у Кельвінах;  $\ln(R1)$  – логарифмічне значення опору терморезистора за  $T1$ ;  $T2$  – температура другого заміру за допомогою терморезистора у Кельвінах;  $\ln(R2)$  – логарифмічне значення опору терморезистора за  $T2$ .

$$\beta = \frac{\ln(4700) - \ln(328.3)}{\frac{1}{20 + 273.1} - \frac{1}{100 + 273.1}} = 3948 [\text{Ом/K}] \quad (2)$$

Розрахунок реального значення температури через опір терморезистора у нагрівальній камері визначається залежністю:

$$R(T) = \frac{1}{\frac{\ln(R) - \ln(R373)}{\beta} + \frac{1}{373}} [\text{Ом}] \quad (3)$$

де  $\ln(R)$  – логарифмічне значення опору за поточної температури терморезистора;  $\ln(R373)$  – логарифмічне значення опору терморезистора за температури 373 K;  $\beta$  – коефіцієнт чутливості терморезистора.

Для побудови схеми зчитувань даних з терморезисторів нами було використано вимірювальний міст постійного струму та аналогово-цифровий перетворювач (АЦП) до мікроконтролера запису та автоматичного розрахунку і використання в програмі Microsoft Office Excel. На рисунку 2 наведено залежність одиниць аналого-цифрового перетворювача від температури.

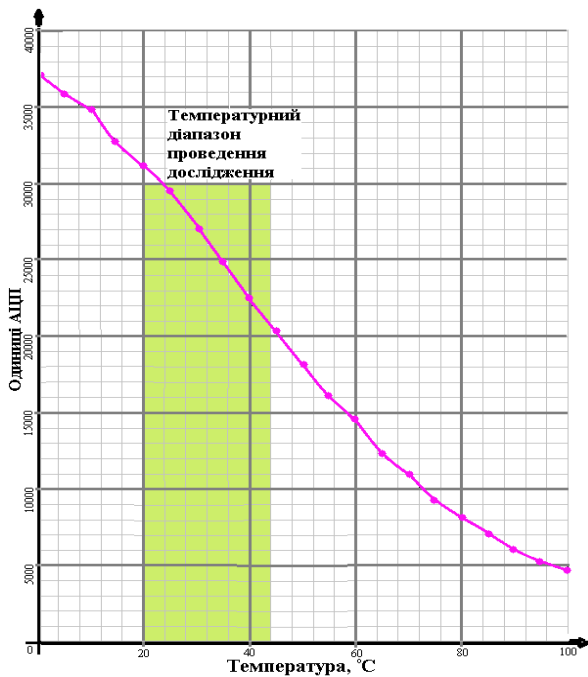


Рис. 2. Залежність одиниць аналого-цифрового перетворювача від температури

## Висновки

1. Радіометри і теплові камери є схожими пристроями, однак є різниця полягає у тому що: радіометри вимірюють інтенсивність випромінювання в видимому, інфрачервоному та радіочастотному діапазоні і генерують числові дані, які можуть бути оброблені та використані для аналізу. У свою чергу теплові камери візуально відображають на екрані розподіл лише інфрачервоного випромінювання поверхні об'єктів.

2. Радіометри і теплові камери мають схожу функцію вимірювання теплового випромінювання, але застосовуються для різних завдань та ситуацій.

3. Напів-провідникові терморезистори є складовими частинами складних цифрових вимірювальних пристроїв але таких можуть використовуватись як самостійні зовнішні датчики температури.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Антонов В. С. Короткий курс загальної метеорології. Чернівці : „Рута”, 2004. 335 с.
2. Беліков А. С., Стрежекуров Ю. Е., Рагімов С. Ю., Харченко В. В. До питання комплексного оцінки впливу теплового випромінювання на робочих місцях з урахуванням забруднення повітряного середовища. *Український журнал будівництва та архітектури*. 2023. № 6. С. 7–15.
3. Шаленний В. Т., Шаломов В. А., Папірник Р. Б. Напрямки удосконалення сучасних технологій, матеріалів і обладнання із врахуванням енергетичних витрат та умов праці будівельних робітників. *Строительство. Материаловедение. Машиностроение*. 2010. Вип. 52. С. 127–131.
4. Беліков А. С., Шаломов В. А., Рагімов С. Ю., Михайлов М. О. Фізичне моделювання зміни енергетичного впливу на робочі місця з урахуванням високотемпературного випромінювання. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2017. № 4. С. 10–17.

## REFERENCES

1. Antonov V.S. *Korotkiy kurs zagalnoy metrologii* [Short Course in General Meteorology]. Chernivtsi : “Ruta” Publ., 2004, 335 p. (in Ukrainian).
2. Bielikov A.S., Strezhekurov Yu.E., Ragimov S.Yu. and Kharchenko V.V. *Do pitanya kompleksnogo ocinki vplivu teplovogo viprominyuvanya na robochih miscyah z urahuvanyam zabrudnenya povitryanogo seredovisha* [To the question of the complex assessment of the impact of heat radiation at workplaces taking into account air pollution]. *Ukrainskyy zhurnal budivnytstva ta arhitektury* [Ukrainian Journal of Civil Engineering and Architecture]. 2023, no. 6, pp. 7–15. (in Ukrainian).
3. Shalennuy V.T., Shalomov V.A. and Papirnyuk R.B. *Napriamki udoskonalennia suchasnykh tekhnologiy, materialiv i obladannia iz vrakhuvanniam energetychnykh vutrat ta umov pratsi budivel'nykh robnyukiv* [Directions for improving modern technologies, materials and equipment, taking into account energy costs and working conditions of construction workers]. *Stroitelstvo. Materialovedenie. Mashinostroenie* [Construction. Materials Science. Mechanical Engineering]. 2010, no. 52, pp. 127–131. (in Ukrainian).
4. Bilikov A.S., Shalomov V.A., Ragimov S.Yu. and Mukhaylov M.O. *Fizychne modeliuvannia zminu energetychnogo vplivu na robochi mista z urakhuvanniam vysokotemperaturnogo vyprominiuvannia* [Physical modeling of changes in energy impact on workplaces taking into account high-temperature radiation]. *Visnik Prudniprovsk'oi derzhpavoi akademii budivnytstva ta arkhitektury* [Bulletin of the Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture]. 2017, no. 4, pp. 10–17. (in Ukrainian).

Надійшла до редакції: 03.04.2025.

УДК 711.4:504.7: 911.375.1

DOI: 10.30838/UJCEA.2312.270425.22.1157

## ГЛОБАЛЬНІ ЗАГРОЗИ І ЇХ ВПЛИВ НА МІСТОБУДУВАННЯ

БОРДУН М. В., *докт. філос., доц.*

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, e-mail: [bordun.maryna@pdaba.edu.ua](mailto:bordun.maryna@pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0002-8539-2423

**Анотація.** Сучасне містобудування стикається з глобальними викликами, такими як зміна клімату, економічні кризи, пандемії та технологічні загрози. Ці фактори, посилені процесами прискореної урбанізації та демографічного зростання, обумовлюють необхідність пошуку нових підходів до створення безпечних і стійких міських просторів. Аналіз глобальних ризиків та їх вплив на розвиток міст є критично важливим для формування і інтеграції ризик-орієнтованих підходів в містобудівні процеси, які сприятимуть мінімізації вразливості міських систем, підвищенню їхньої адаптивності та формуванню збалансованого середовища життєдіяльності людства. **Мета статті** – визначення і систематизація основних глобальних ризиків, аналіз їхніх взаємозв'язків та впливу на містобудування, а також обґрунтування концептуальних підходів до формування стійкого ризик-орієнтованого урбаністичного середовища. **Висновок.** Дослідження глобальних загроз та їх взаємозв'язки і вплив на містобудування підкреслює необхідність глибшого осмислення містобудівних стратегій через призму стійкості, адаптивності та гармонійної взаємодії людини, природи й технологій. Урбанізовані простори потребують не лише інженерних рішень, а й концептуального переосмислення ролі людини в міському середовищі, її відповідальності перед наступними поколіннями та інтеграції етичних принципів у планування. Архітектурні рішення не лише виконують практичні функції, а й формують соціокультурне середовище, що впливає на мислення, поведінку та ідентичність суспільства. Містобудування виступає основним інструментом у протидії глобальним загрозам, яке виходить за межі технічних чи економічних завдань, і перетворюється на глибоке філософське мислення пошуків шляхів гармонії між урбанізацією та збереженням фундаментальних основ людського буття.

**Ключові слова:** глобальні ризики; містобудування; зміна клімату; урбанізація; сталий розвиток; циркулярна економіка; регенеративний дизайн

## GLOBAL THREATS AND THEIR IMPACT ON URBAN PLANNING

BORDUN M.V., *PhD, Assoc. Prof.*

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, e-mail: [bordun.maryna@pdaba.edu.ua](mailto:bordun.maryna@pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0002-8539-2423

**Abstract.** Modern urban planning faces global challenges such as climate change, economic crises, pandemics, and technological threats. These factors, exacerbated by rapid urbanization and demographic growth, necessitate the development of new approaches to creating safe and sustainable urban spaces. Analyzing global risks and their impact on urban development is critically important for formulating and integrating risk-oriented approaches into urban planning processes. Such approaches aim to reduce the vulnerability of urban systems, enhance their adaptability, and foster a balanced living environment for humanity. **The purpose of the article** is to identify and systematize key global risks, analyze their interconnections and influence on urban planning, and substantiate conceptual approaches to forming a resilient, risk-oriented urban environment. **Conclusion.** The study of global threats and their impact on urban planning underscores the need for deeper reflection on urban development strategies through the lens of sustainability, adaptability, and the harmonious interaction of humans, nature, and technology. Urban spaces require not only engineering solutions but also a conceptual rethinking of humanity's role in the urban environment, its responsibility to future generations, and the integration of ethical principles into planning. Architectural solutions serve not only practical functions but also shape the sociocultural environment, influencing societal thinking, behavior, and identity. Urban planning emerges as a key tool in countering global threats, transcending purely technical or economic tasks and evolving into a profound philosophical inquiry into balancing urbanization with the preservation of fundamental human values.

**Keywords:** *global risks; urban planning; climate change; urbanization; sustainable development; circular economy; regenerative design*

**Постановка проблеми.** Сучасне містобудування стикається з безпрецедентними викликами, спричиненими глобальними ризиками. Зміна клімату, економічні кризи, технологічні загрози, пандемії та соціальна нестабільність кардинально впливають на планування, будівництво та управління міськими територіями. Швидка урбанізація та зростання населення вимагають нових підходів до створення безпечних, стійких та адаптивних міст, здатних протистояти сучасним загрозам.

Глобальне потепління та екстремальні погодні явища змушують архітекторів та інженерів переглядати принципи проектування і будівництва, впроваджуючи інноваційні рішення, енергоефективні технології та екологічно чисті матеріали. Пандемії, подібні до COVID-19, змінили підхід до просторового планування, збільшивши попит на зелені зони, багатофункціональні будівлі та розвинену інфраструктуру охорони здоров'я. Технологічний прогрес, включаючи штучний інтелект та цифровізацію міст, відкриває нові можливості для «розумного» містобудування, але також породжує ризики, пов'язані з кібербезпекою та контролем особистих даних.

Аналіз глобальних ризиків та їх вплив на розвиток міст є критично важливим для забезпечення сталості, безпеки та комфорту. У цій статті розглядаються основні виклики, з якими стикається містобудування в умовах сучасних загроз, а також можливі шляхи їх подолання.

**Аналіз публікацій.** Вперше на офіційному рівні питання глобальних загроз людству почали активно обговорювати у другій половині XX століття, коли стали очевидними наслідки технологічного прогресу, економічної глобалізації та людської діяльності для планети. Дослідження, проведене Массачусетським технологічним інститутом, результати якого були представлені в знаменитій доповіді Римського клубу у 1972 році «Межі

зростання» (англ. *The Limits to Growth*), показало, що без змін у споживчій моделі людство може зіткнутися з економічним і екологічним колапсом [1].

У 1988 році вчені вперше звернули увагу громадскості і політичних діячів на проблему зміни клімату – як на одну із головних загроз існуванню людства сьогодні [2].

Вперше наймасштабніше дослідження і аналіз глобальних ризиків людства та їх прогнозування в короткочасній і довготривалій перспективі було проведено в рамках Всесвітнього економічного форуму в Давосі і представлено в звіті «Global Risks 2006» [3]. Метою цього документу було: ідентифікувати та оцінювати поточні та нові глобальні ризики у часових горизонтах; вивчати зв'язки між ними та оцінювати їх ймовірний вплив на різні ринки та галузі; а також, ефективніше розвивати мислення для пом'якшення глобальних ризиків.

«Глобальний ризик» визначається як можливість настання події або умови, яка, якщо вона відбудеться негативно вплине на значну частку глобального ВВП, населення або природних ресурсів [4].

Проблеми, що викликають глобальне занепокоєння, згруповано в п'ять класів – економічні, геополітичні, екологічні, соціальні та технологічні. Наприклад, до економічних ризиків в 2006 році вчені віднесли такі проблеми, як ціни на нафту та енергопостачання, дефіцит рахунку поточних операцій США та долар США, майбутня фіскальна криза та ін. До екологічних - тропічні циклони, землетруси, зміна клімату, втрата екосистемних послуг; до технологічних - конвергенція технологій, нанотехнології; електромагнітні поля; поширені обчислення. Тероризм і військові конфлікти розглядаються як ризики геополітичної сфери. Проте найбільше глобальних ризиків було віднесено до соціальної сфери, серед яких провал міського планування, продовольчі кризи, масштабна вимушена міграція, глибока соціальна нестабільність, швидке і масове



поширення інфекційних захворювань, водні кризи.

Слід зазначити, що глобальні ризики рідко проявляються ізольовано. Взаємодія численних глобальних ризиків та їхній сукупний хвильовий ефект може створити потенційно катастрофічні «ідеальні шторми» – кумулятивні події, які завдають більш значної шкоди ніж суми кожної окремої події ризику. Усі категорії ризиків взаємопов'язані, і цей взаємозв'язок може призводити до ефекту «доміно», коли виникнення одного ризику провокує каскадний розвиток інших, підсилюючи їхній загальний негативний вплив на суспільство, економіку та довкілля.

Більшість глобальних ризиків характеризуються низькою ймовірністю реалізації, однак у разі їхнього настання вони спричиняють масштабні та довготривалі наслідки для суспільства, економіки та навколишнього середовища. Такі ризики, як глобальні пандемії, фінансові кризи, великомасштабні природні катаклізми чи технологічні збої, можуть залишатися малоймовірними протягом тривалого часу, проте їхній вплив може бути катастрофічним і складним для пом'якшення.

Глобальні ризики відрізняються не лише за своїм характером та наслідками, але й за швидкістю розвитку. Деякі з них розгортаються поступово, протягом тривалого часу, і можуть залишатися непомітними до моменту, коли їхній вплив стає незворотним. Наприклад, зміни клімату відбуваються десятиліттями, спричиняючи підвищення температур, екстремальні погодні явища, втрату біорізноманіття та деградацію екосистем. Хоча цей процес є повільним, його наслідки можуть бути катастрофічними та глобальними.

Водночас інші ризики можуть виникати раптово та непередбачувано, завдаючи миттєвих і масштабних збитків. До таких належать фінансові кризи, які можуть спричинити крах ринків за лічені дні, або терористичні акти, що мають негайний деструктивний ефект на безпеку та стабільність суспільства. Вони часто

виникають без попереджувальних ознак або з коротким вікном для реагування, що ускладнює їхнє управління та мінімізацію наслідків.

Крім того, сприйняття ризиків змінюється з часом і розвитком людства. Зміни пріоритетів, як в довгостроковій, а особливо, в короткостроковій перспективі показують всю мінливість ландшафту ризиків [4].

За 20 років дослідження глобальних ризиків під впливом тих чи інших подій, наприклад, таких як, глобальна фінансова криза 2007–2008 років, пандемія COVID-19, різні природні катаклізми, збройні конфлікти в різних точках світу, технологічне прискорення, тощо, сприйняття різних ризиків змінюється. Вміст категорій ризиків постійно розширюється новими загрозами. Так, в звіті Global risk report 2015 категорії вже складаються з 28 глобальних ризиків [5], а в Global risk report 2025 – вже з 33 [4].

Дослідження глобальних ризиків є необхідною умовою для розуміння їхньої взаємозалежності та впливу на ключові сфери життєдіяльності та розвитку людства, а також слугує підґрунтям для розроблення ефективних механізмів прогнозування та комплексних стратегій їхнього пом'якшення.

В цьому контексті будівельна галузь і ефективно містобудівне планування виступають ключовими інструментами адаптації до глобальних викликів, забезпечуючи підвищення стійкості урбанізованих територій до екологічних, соціально-економічних та технологічних загроз. Інтеграція принципів ризик-орієнтованого підходу в містобудівні процеси сприяє мінімізації вразливості міських систем, підвищенню їхньої адаптивності та формуванню збалансованого середовища життєдіяльності людства.

**Мета статті** – визначення і систематизація основних глобальних ризиків, аналіз їхніх взаємозв'язків та впливу на містобудування, а також обґрунтування концептуальних підходів до

формування стійкого ризик-орієнтованого урбаністичного середовища.

**Результати досліджень.** Згідно представленому в Global risk report 2025 аналізу щодо зміни ключових ризиків і категорій ризиків за останні два десятиліття можна виділити найбільш стабільні загрози, які очолюють рейтинги протягом цього періоду [4].

1. Зміна клімату і пов'язані з цим загрози: критичні зміни в системах Землі, екстремальні погодні явища, дефіцит природних ресурсів і забруднення.

2. Збройні конфлікти на державному або міждержавному рівні (проксі,

громадянські війни, перевороти, тероризм тощо).

3. Суспільні загрози: нерівність, відсутність економічних можливостей, інфекційні захворювання, обмеження прав і свобод людини.

4. Технологічні ризики: поширення дезінформації, цензура і спорстереження, кібершпиунство, негативні наслідки технологій штучного інтелекту.

Глобальні ризики можна класифікувати за різними критеріями: природою виникнення, масштабом впливу, швидкістю розвитку та можливістю управління, тощо. Класифікація глобальних ризиків представлена на рисунку 1.

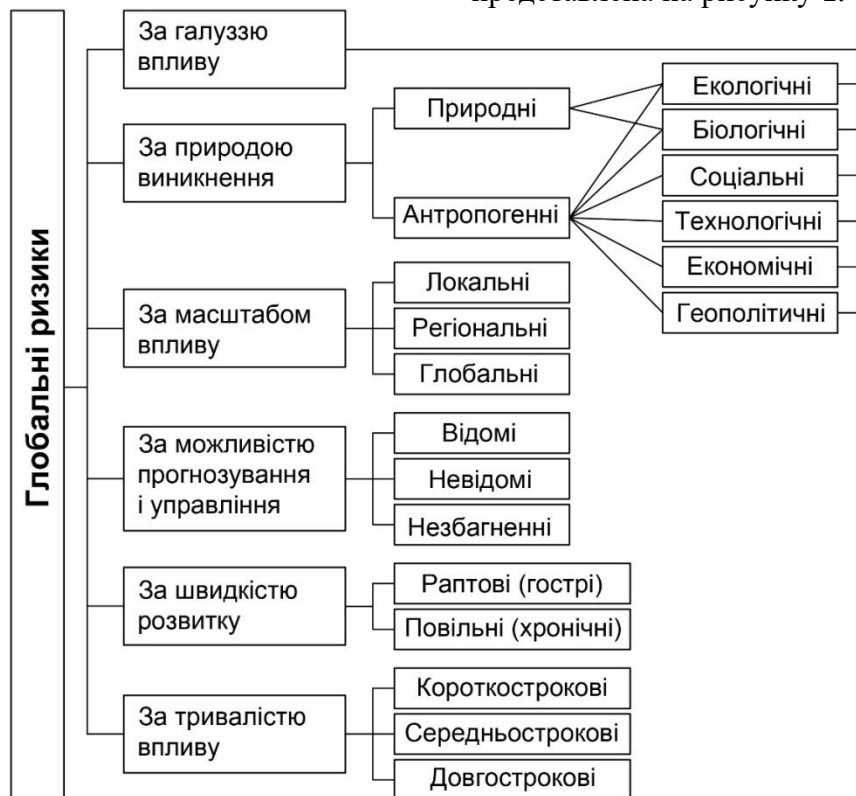


Рис. 1. Класифікація глобальних ризиків (класифікація автора)

Глобальні ризики, незалежно від їхньої природи, мають суттєвий вплив на розвиток міського середовища. Потенціал збитків від будь-якого з глобальних ризиків особливо високий у містах. Міста сьогодні займають приблизно 2 % загальної території суші, однак виробляють: 70 % валового внутрішнього продукту (ВВП), понад 60 % світового споживання енергії, 70 % викидів парникових газів, та 70 % глобальних відходів. За даними світового банку кожна

шоста людина на планеті проживає в містах. А до 2050 року за оцінками ООН частка міського населення зросте до 70 %.

Концентрація населення, промисловості, інфраструктури та економічної діяльності у містах сприяють підвищенню впливу та сприйнятливості до різних природних і антропогенних загроз. Процес урбанізації, що триває, є однією з головних причин приголомшливого збільшення кількості

загиблих від стихійних лих та економічних втрат за останні десятиліття.

Враховуючи стрімкі темпи урбанізації та зростання вразливості міського середовища, важливо розглянути ключові глобальні загрози, які впливають на містобудування, і заходи щодо їх пом'якшення за допомогою використання сучасних архітектурно-будівельних технологій.

Кліматичні зміни та природні катаклізми становлять одну з найсерйозніших загроз для міського середовища, безпосередньо впливають на міську екосистему, підвищуючи її вразливість та загрожують стабільному розвитку.

Основні наслідки кліматичних змін та природних катаклізмів для міського середовища включають:

- підвищення температури та створення ефекту міського теплового острова (Urban Heat Island Effect) [6];

- зміна погодних умов, збільшення кількості екстремальних опадів спричиняє частіші та масштабніші повені, що пошкоджують дороги, будівлі, транспортні мережі, посухи та дефіцит водних ресурсів ставить під загрозу водопостачання та каналізаційні системи міст;

- загроза прибережним містам через підвищення рівня моря, ризик затоплень, ерозії ґрунтів, проникнення солоної води у підземні води;

- підвищення частоти природних катастроф (урагани, лісові пожежі, тайфуни, тощо) спричиняє руйнування інфраструктури і будівель, людські жертви;

- погіршення екологічної ситуації та стану міських екосистем через підвищення температури, що разом із забрудненням повітря призводить до утворення туманів-смогів та кислотних дощів [7].

Другою найбільш стабільною загрозою, за даними аналізу Global risk report 2025 є збройні конфлікти, до яких відносяться міждержавні конфлікти, громадянські війни, перевороти, тероризм, тощо. Збройні конфлікти є одним із найбільш руйнівних глобальних ризиків, що безпосередньо впливають на міське середовище, його

інфраструктуру, соціальну та економічну стабільність.

Основні наслідки збройних конфліктів для міст:

- руйнування інфраструктури – військові дії знищують житлові квартали, транспортні мережі, об'єкти критичної інфраструктури (енергомережі, водопостачання, каналізацію), приводять до значної кількості жертв серед цивільного населення;

- міграція та демографічні зміни – вимушена міграція через бойові дії створює додаткове навантаження на інші міста, що приймають переселенців;

- економічний занепад та деградація міст – війна призводить до знищення підприємств, зменшення інвестицій, закриття бізнесів, що підриває економічний розвиток міст. Руйнування інфраструктури та нестача робочих місць сповільнюють відновлення міст навіть після завершення конфлікту.

Збройні конфлікти не лише руйнують міста фізично, але й змінюють їхню соціальну, економічну та урбаністичну структуру. Відновлення міського середовища після війни вимагає комплексного підходу, що включає відбудову інфраструктури, інтеграцію переселенців, стимулювання економіки та посилення безпеки.

Наступними значними загрозами для людства є соціальні загрози, такі як нерівність, відсутність економічних можливостей, інфекційні захворювання, обмеження прав і свобод людини, тощо. Особливу увагу тут слід приділити такому ризику, як інфекційні захворювання.

Упродовж всієї історії людства розвиток і поширення інфекційних захворювань залишалося постійним викликом, а в окремих випадках їх епідемічне розповсюдження спричиняло суттєве скорочення населення окремих регіонів, країн і континентів. З розвитком глобалізації цей виклик не зник, а, навпаки, набув більш руйнівних масштабів внаслідок зростаючої мобільності населення, інтенсифікації міжнародних транспортних потоків та

збільшення щільності взаємозв'язків між країнами і регіонами, що сприяє стрімкому поширенню патогенів на глобальному рівні.

Пандемія COVID-19 показала, що інфекційні захворювання становлять серйозну загрозу для міського середовища, оскільки щільна забудова, висока мобільність населення та недостатня санітарна інфраструктура сприяють швидкому поширенню хвороб.

Основні впливи та наслідки від поширення інфекційних захворювань для міст:

- ризик швидкого поширення інфекцій – місця скупчення людей (громадський транспорт, ринки, торгові центри, тощо) стають осередками розповсюдження інфекції;

- навантаження на медичну та санітарну інфраструктуру (перевантаження медичних установ, дефіцит лікарських засобів і медичного персоналу, тощо);

- соціальні наслідки – введення карантинних заходів, обмеження соціальної взаємодії сприяють зростанню психологічної напруги, депресивних станів, а також загостренню соціальної нерівності;

- транспортний колапс і порушення логістики через закриття кордонів, обмеження громадського транспорту та перебоїв в роботі логістичних ланцюгів, що ускладнює постачання товарів і критично важливих ресурсів у міста;

- економічні наслідки – через карантинні обмеження відбувається скорочення споживної активності, зниження зайнятості населення, закриття підприємств, що може спричинити рецесію, зростання безробіття, економічного спаду;

- зміни в міському плануванні – в умовах ризику епідемій міста змушені адаптувати свою інфраструктуру, включаючи розширення медичних закладів, зон для карантину, розвиток безпечного громадського простору, а також посилення санітарно-епідеміологічного контролю.

Технологічне прискорення є рушійною силою не тільки розвитку людства, а і силою яка формує ризики, які є найбільш невизначеними (згідно типології Діболда)

[3]. За останні 20 років вміст категорій технологічних ризиків неодноразово змінювався. І це є ознакою попередження про те, що вони можуть стати сферою найнесподіваніших майбутніх загроз.

Сучасні міста стають дедалі більш технологічно залежними, що, з одного боку, підвищує їхню ефективність, а з іншого – робить їх вразливими до низки технологічних загроз.

Технологічні загрози, такі як кібератаки, автоматизація, штучний інтелект, залежність від цифрових систем та інші, мають значний вплив на містобудування та розвиток міської інфраструктури.

Основні технологічні ризики в міському середовищі сьогодні:

- кіберзагрози та атаки на критичну інфраструктуру – сучасні міста все більше покладаються на цифрові технології, такі як IoT (Інтернет речей), системи управління транспортом, енергетикою та водопостачанням, що робить їх потенційними мішенями для кібератак, які можуть паралізувати життєво важливі системи і призвести до «цифрового паралічу» міста;

- залежність від цифрових технологій, втрата приватності та особистих даних – масове використання систем відеоспостереження, біометричної ідентифікації, «розумних» міських платформ та Інтернету речей (IoT) підвищує ризики витоку персональних даних, несанкціонованого стеження та кіберзлочинності;

- техногенні катастрофи та промислові аварії – високий рівень урбанізації та концентрація промислових підприємств у містах збільшують ризик техногенних катастроф, таких як витoki небезпечних речовин, вибухи або аварії;

- автоматизація міської інфраструктури та впровадження штучного інтелекту у різних сферах міської інфраструктури (транспорт, логістика, обслуговування та будівництво), знижують потребу в робочій силі, що може призвести до масового безробіття і підвищення соціальної нерівності.

Сьогодні традиційні підходи до містобудування вже не є достатньо ефективними в умовах швидких змін і непередбачуваності. Адаптація міст до глобальних ризиків вимагає розробки нових комплексних ризик-орієнтованих підходів, які поєднують технологічні інновації, екологічну стійкість, соціальну інклюзію та ефективне управління, враховують як поточні, так і майбутні загрози, а також сприяють створенню міст, які є не лише ефективними та комфортними, але й стійкими до будь-яких зовнішніх впливів в умовах глобальної нестабільності.

Основні принципи, на які потрібно спиратися при формуванні стійкого ризик-орієнтованого урбаністичного середовища:

- Принцип гнучкості та адаптивності як на рівні будівельних об'єктів і форм, так і на рівні містобудівних просторів і інфраструктури. Адаптивна архітектура (Responsive architecture) визначається, як тип архітектури, яка має здатність змінювати свою форму у відповідь на зміну умов. Автором концепції є Ніколас Негропonte, який вперше представив свої ідеї в науковій праці «The Architecture Machine», 1970 р. [8], в якій зазначив, що адаптивна архітектура є результатом поєднання комп'ютерних технологій і будівництва, де будівельні об'єкти можуть змінюватися завдяки вбудованим «розумним» системам, реагуючи на зовнішні впливи і потреби користувачів [9].

Теорія «гнучкої» або «еластичної» архітектури (Flexible architecture) була запропонована Фрідріхом Кізлером і базувалась на ідеї безмежності та неперервності простору. Згодом цей метод утвердився в напрямі «кореалізм», основою якого була постійна взаємодія між людиною та природним і технологічним середовищем її існування [10; 11].

- Принцип резильєнтності (стійкості до потрясінь). Термін «резильєнтність» (від англ. resilience – пружність, еластичність) все частіше зустрічається в стратегічних та програмних документах міжнародних організацій (ООН, ОЕСР, ЄС та ін.), як новий підхід до вирішення проблем безпеки

в умовах несподіваних шоків, зокрема, стихійних лих, політичних конфліктів, міжнародного тероризму чи економічних потрясінь [12; 13]. Оскільки міста продовжують рости та стикаються з невизначеністю та такими викликами, як зміна клімату, концепція стійкості міст стає дедалі популярнішою.

Визначення такого поняття, як «міська стійкість» найбільш повно представлено в дослідженні [14] і означає здатність міської системи – і всіх її складових соціально-екологічних і соціально-технічних мереж у часових і просторових масштабах – підтримувати або швидко повертатися до бажаних функцій перед обличчям порушення, адаптуватися до змін і швидко трансформувати системи, які обмежують поточну або майбутню здатність до адаптації.

- Принцип децентралізації є одним із основних принципів стійкого містобудування, який спрямований на розподіл функцій, ресурсів та управління на рівні окремих районів або громад. Одним із прикладів застосування принципу децентралізації в містобудуванні є концепція 15-ти хвилинного міста Карлоса Морено. Основою цієї концепції є її направленість на людину і її повсякденний комфорт, у якій більшість повсякденних потреб і послуг, таких як робота, покупки, освіта, охорона здоров'я та відпочинок, можна легко отримати у межах 15 хвилин пішки або на велосипеді з будь-якої точки міста [15]. Впровадження принципу децентралізації на рівні критичної інфраструктури міст, а саме використання систем розподіленої енергетики, створення локальних систем очищення води та переробки стічних вод є запорукою підвищення безпеки, стійкості і резильєнтності міст до зовнішніх загроз, зокрема, техногенних аварій, стихійних лих і військових загроз [16].

- Принцип інклюзивності, який базується на концепції «права на місто» і в сучасних умовах трактується як рівноправне володіння та користування міськими просторами. Це означає створення умов, що

сприяють залученню всіх мешканців без будь-якої дискримінації. Мета полягає в забезпеченні справедливих, безпечних, здорових, доступних (як фізично, так і фінансово), життєздатних і стійких міст та населених пунктів, які сприятимуть загальному процвітання та підвищенню якості життя для всіх [17].

- Принцип безпеки. Однією з основних потреб людства на всіх етапах його розвитку є безпека. Принцип безпеки передбачає створення стійкого міського середовища до природних, техногенних і соціальних загроз. Для створення безпечного міського середовища необхідно використовувати ризик-орієнтоване планування через розробку і врахування сценаріїв потенційних катастроф, соціальних криз, військових загроз, тощо; створювати адаптивні простори безпеки на всіх рівнях містобудування: громадські та індивідуальні простори безпеки; використовувати сучасні технологічні рішення, зокрема, системи моніторингу міського простору і раннього попередження; а також підвищувати обізнаність мешканців щодо потенційних загроз та способів їх мінімізації.

- Принцип інноваційності, що включає практичну реалізацію концепції розумного (смайт) міста; використання технологічних інновацій у галузі інформаційно-комунікаційних технологій, електронного уряду, цифрових інструментів управління та систем геопросторової інформації; створення ефективних інноваційних фінансових механізмів задля зміцнення міської фінансової системи з метою забезпечення сталого міського розвитку [18].

- Принцип екологічності, який передбачає комплексний підхід до зменшення негативного впливу урбанізації на навколишнє середовище, що включає: інтеграцію зелених зон в просторову структуру міста, раціональне використання природних ресурсів, ефективне управління відходами та їх мінімізація, використання рециклінгових технологій і матеріалів,

використання відновлювальних джерел енергії, створення замкнутих циклів процесів життєдіяльності на рівні окремих будівель, районів та міста, тощо.

- Принцип партисипативності, що передбачає активне залучення всіх зацікавлених сторін на всіх етапах формування, планування та реалізації міської політики – від розробки концепції до бюджетування, впровадження, моніторингу та оцінки. Серед учасників цього процесу – органи місцевого самоврядування, приватний сектор, громадянське суспільство, організації, що представляють людей із обмеженими можливостями, людей похилого віку, молодь, корінні народи, експертну академічні установи, тощо.

Більшість з цих принципів сталого містобудування вже імплементовано в сучасні концептуальні підходи, такі як Концепція сталого розвитку (Sustainable development), циркулярної економіки (Circular economy), взаємозв'язок «енергія – вода – продукти» (Energy – Water – Food Nexus), Європейська Зелена угода (Green Deal), Регенеративний дизайн, тощо [19–25].

Такі відомі архітектори як Норман Фостер [26], Бйорке Інгельс [27], Шигеру Бан [28], Кен Янг [29], Вільям МакДонау [30], Ренцо Піано, Масдар Сіті, Винсент Каллебо [31], серед українських архітекторів Микола Дьомін, Ірина Устінова [32], Олена Зінов'єва, Олег Слєпцов, Вадим Куцевич, Тетяна Кашенко, Микола Габрель, Ігор Гнесь, Надія Соснова та ін. працюють над впровадженням принципів цих концепцій в архітектуру і містобудування.

Основні положення і підходи реалізації цих концепцій в містобудуванні представлені в таблиці 1.

Сьогодні існує багато стратегій для реалізації цих концептуальних підходів розвитку міських просторів, зокрема, Новий урбанізм, Розумне місто (Smart City), Компактне місто (Compact City), Місто 15 хвилин (15-Minute City), Біофільне місто (Biophilic City), Місто-губка (Sponge City), Безпечне місто, тощо.

Таблиця 1

## Аналіз концепцій і підходів їх реалізації в містобудуванні

| Концепція             | Основні положення                                                                                                                                                 | Основні підходи реалізації концепції в містобудуванні                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                     | 2                                                                                                                                                                 | 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Сталий розвиток       | Задоволення потреб нинішнього покоління без загрози здатності майбутніх поколінь задовольняти свої потреби. Триєдина складова: економічна, екологічна, соціальна. | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Використання відновлюваної енергії;</li> <li>- раціональне використання ресурсів і води;</li> <li>- створення зеленої інфраструктури міст;</li> <li>- компактне планування міст;</li> <li>- використання екологічних матеріалів;</li> <li>- створення доступного соціального житла;</li> <li>- використання безпечних цифрових платформ для міського управління.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Циркулярна економіка  | Модель економіки, заснована на замкнутих циклах, передбачає багаторазове використання ресурсів, високий рівень переробки відходів і їхнє максимальне скорочення.  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Повторне використання ресурсів (переробка будівельних відходів);</li> <li>- рециклінгові матеріали, адаптивне повторне використання будівель);</li> <li>- цифровізація процесів (BIM-моделювання, цифрові двійники, цифровий паспорт будівлі, оцінка життєвого циклу, тощо);</li> <li>- використання конструкцій для легкого розбирання (модульні конструкції, дизайн для розбирання DfD, реверсивні будівельні методи);</li> <li>- використання стійких будівельних матеріалів з низьким впливом на довкілля (перероблені матеріали, біологічні матеріали);</li> <li>- енергоефективність будівель та використання відновлювальних джерел енергії.</li> </ul> |
| Регенеративний дизайн | Співпраця з природними системами та процесами для активного відновлення та створення здорових людських і природних екосистем.                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Партнерство з місцем: від «будівника», який контролює побудовані системи до «садівника», який працює в партнерстві з місцем і його процесами;</li> <li>- відновлення природних екосистем та спільна еволюція збудованого, культурного та природного середовища;</li> <li>- використання замкнутих циклів ресурсів: мінімізація відходів, рециклінг матеріалів, створення циркулярних систем енергозабезпечення і водопостачання;</li> <li>- енергетична автономність на основі відновлювальних джерел;</li> <li>- використання природних форм, матеріалів і рішень, що сприяють гармонійній взаємодії людини з довкіллям.</li> </ul>                           |



| 1                                      | 2                                                                                                                                                                                                                                 | 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Європейська зелена угода               | Створення умов і розробка і впровадження ініціатив для перетворення Європи на перший у світі кліматично нейтральний континент до 2050 року                                                                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Енергоефективність будівель: термореновація існуючого житлового фонду, стимулювання будівництва будівель «Нуль енергії» та «Енергії плюс»;</li> <li>- розвиток сталого транспорту: розширення громадського транспорту з пріоритетом електро- та водневих автобусів, популяризація велосипедної та пішохідної інфраструктури, створення «зелених» транспортних коридорів та мереж зарядних станцій для електромобілів;</li> <li>- розумні міста та цифрові технології: інтелектуальні системи управління міською інфраструктурою, Big Data та штучний інтелект для оптимізації використання міських ресурсів;</li> <li>- декарбонізація енергетики: використання відновлювальних джерел енергії, впровадження системи розподіленої енергетики;</li> <li>- дотримання принципів циркулярної економіки: замкнутий цикл ресурсів, мінімізація відходів, розвиток локального виробництва;</li> <li>- природоорієнтовані рішення міського планування: збір дощової води, створення зелених зон і штучних міських водойм, зелені дахи та вертикальне озеленення фасадів.</li> </ul> |
| Зв'язок «Вода – Енергія-Продовольство» | Розумне управління взаємозалежністю між трьома ключовими ресурсами: водою, енергією та продовольством для підвищення ефективності, безпеки, уникнення конфліктів та забезпечення довгострокової стійкості для майбутніх поколінь. | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Водозберігаючі технології: впровадження систем повторного використання води, збір дощової води та її очищення;</li> <li>- енергоефективне будівництво: використання відновлюваних джерел енергії (сонячні батареї, геотермальні системи), «розумні» системи управління енергоспоживанням;</li> <li>- агроурбанізм та міське фермерство: інтеграція міських ферм, вертикального та дахового землеробства, що дозволяє скорочувати ланцюги постачання продовольства та зменшувати вуглецевий слід;</li> <li>- інтеграція мультифункціональних екосистем: створення самодостатніх кварталів та екологічних поселень, що оптимізують використання води, енергії та їжі в рамках локальних ресурсних циклів.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

Всі ці стратегії об'єднує те, що ключовим аспектом сучасного містобудування є людина і її потреби. Міста існують для людей, тому всі рішення повинні бути орієнтовані на покращення якості життя мешканців, гармонійне співіснування людини та природного середовища та забезпечення рівності.

Основним структурним елементом міського середовища є будівля. Саме будівлі формують міський простір, визначають його функціональність, естетику і рівень екологічної взаємодії. В сучасних умовах урбанізаційних процесів, які

супроводжуються впливом тих чи інших глобальних загроз, зокрема, зміни клімату, зростаючим дефіцитом природних ресурсів та збільшенням чисельності міського населення, тощо, вимоги до будівель зазнають суттєвих змін. Вони повинні не лише забезпечувати високий рівень комфорту, безпеки та ергономічності для користувачів, а й сприяти зниженню негативного антропогенного навантаження на довкілля, та створювати сучасну міську екосистему, яка може розвиватися спільно з природними системами на взаємовигідних умовах.

Сьогодні будівля розглядається вже не просто, як укриття від несприятливих факторів навколишнього середовища або місце проживання людини, а служить зовнішньою макрооболонкою людської істоти з її життєвими та духовними потребами. Будівля, чи то одноповерхові житлові будинки, чи багатоповерхова міська забудова – це вже не просто конструктивна оболонка, а досить складний за своєю технічною оснащеністю об'єкт. Це «живий організм», начинений енергетичними артеріями – електропроводкою та газопроводом; системами життєзабезпечення та метаболізму – водопроводом та каналізацією, вентиляційним обладнанням, кондиціонерами, холодильниками, світильниками; своєрідною «нервовою системою» – аудіо-відеотехнікою, системами відеоспостереження, охоронною сигналізацією, різними датчиками і контролерами, а також мозком – сучасною системою управління будівлею на основі штучного інтелекту та Інтернет Речей. Подібно до організму, будівля функціонує, отримує світло і тепло, споживає воду та енергію, дихає, виділяє продукти метаболізму, продукує відходи.

Місто, в свою чергу, вже більше не може розглядатися лише як набір будівель і інфраструктурних об'єктів, воно має стати живим організмом, що реагує на зміни, вчиться з досвіду та розвивається, орієнтуючись на довготривалу гармонію між соціальними, економічними та екологічними аспектами.

## Висновки

Так чи не інакше людство постійно стикається з різними загрозами. Сучасні глобальні виклики вимагають переосмислення містобудівних стратегій крізь призму філософії стійкості, адаптивності та співіснування людини, природи й технологій. Ризики, з якими стикаються сучасні урбанізовані середовища, вимагають не лише технічних рішень, а й концептуального переосмислення взаємодії людини з простором, її відповідальності перед майбутніми поколіннями та необхідності інтегрування етичних принципів у містобудівне планування.

Філософія містобудування XXI століття має базуватися на принципах і стратегіях, в яких баланс між технологічним прогресом і природними циклами виступає основою для формування життєвого простору. Важливо усвідомити, що кожне архітектурне рішення несе в собі не лише утилітарний сенс, а й формує певну соціокультурну реальність, яка впливає на поведінку, ментальність та колективну ідентичність людей. Відтак, подолання глобальних загроз у містобудуванні є не просто технічною чи економічною задачею, а питанням глибокого філософського осмислення, спрямованого на пошук гармонії між урбанізацією та збереженням фундаментальних основ людського буття.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Donella H. Meadows, Dennis L. Meadows, J. Randers, William W. Behrens III The Limits to Growth. A report of the Club of Rome's Project on the predicament of mankind. New York, 1972. 205 p. URL : <https://www.donellameadows.org/wp-content/userfiles/Limits-to-Growth-digital-scan-version.pdf>.
2. Міжурядова група експертів зі зміни клімату. Вікіпедія. URL : [https://uk.wikipedia.org/wiki/Міжурядова\\_група\\_експертів\\_зі\\_зміни\\_клімату](https://uk.wikipedia.org/wiki/Міжурядова_група_експертів_зі_зміни_клімату). (дата звернення: 27.03.2025).
3. Global Risks 2006. A World Economic Forum Report. URL : [https://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Global\\_Risks\\_Report\\_2006.pdf](https://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Risks_Report_2006.pdf). (дата звернення: 27.03.2025).
4. Global Risks Report 2025. 20th Edition. Insight report. World Economic Forum. URL : <https://www.weforum.org/publications/global-risks-report-2025/>. (дата звернення: 27.03.2025).
5. Global Risks 2015. 10th Edition. Insight report. World Economic Forum. URL : <https://www.weforum.org/publications/global-risks-2015/>. (дата звернення: 27.03.2025).
6. Urban heat island. Wikipedia. URL : [https://en.wikipedia.org/wiki/Urban\\_heat\\_island](https://en.wikipedia.org/wiki/Urban_heat_island) (дата звернення: 27.03.2025).
7. Устінова І. І., Козятник І. П. Проблеми змін клімату у контексті містобудівних задач. *II-й Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю (Екологія / Ecology – 2009) : зб. наук. ст.* (23 – 26 вересня 2009 р.). Вінниця : ФОП Данилюк, 2009. С. 412–416.

8. Nicholas Negroponte *The Architecture Machine: Toward a More Human Environment* : Book, Cambridge, Massachusetts, and London, England : The MIT Press, 1970. 164 p.
9. Tristan d'Estre'e Sterk *Building upon Negroponte : a hybridized model of control suitable for responsive architecture. Automation in Construction*. 2005. № 14 (2). Pp. 225–232. URL : <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2004.07.003>.
10. Копиляк І. Архітектурні ідеї Фрідріха Кізлера в проектуванні сучасних культурно-видовищних та освітніх об'єктів. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія : «Архітектура»*. 2020. № 2 (4). С. 97–104. URL : <https://doi.org/10.23939/sa2020.02.097>.
11. Габрель М., П'яста Ю. Передумови формування гнучкості архітектури. *Містобудування та територіальне планування*. 2020. № 75. С. 97–113. URL : <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2020.75.97-113>.
12. Walker J., Cooper M. Genealogies of resilience : From systems ecology to the political economy of crisis adaptation. *The Global Governance of Security and Finance*. 2011. № 42 (2). Pp. 143–160. URL : <https://doi.org/10.1177/0967010611399616>.
13. Лещук І. Еволюція теоретичних підходів до дослідження соціально-економічної резильєнтності країни та регіонів в умовах нестабільності. *Економіка та суспільство*. 2024. № 61. URL : <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-61-50>.
14. Meerow S., Newell J. P., Stults M. Defining Urban Resilience : a review. *Landscape and Urban Planning*. 2016. № 147. Pp. 38–49. URL : <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.11.011>.
15. Місто 15-ти хвилин. Вікіпедія. URL : [https://uk.wikipedia.org/wiki/Місто\\_15-ти\\_хвилин](https://uk.wikipedia.org/wiki/Місто_15-ти_хвилин) (дата звернення: 27.03.2025).
16. Savytskyi M., Radkevych A., Savytskyi O., Babenko M., Shevchenko T. Peculiarities of organizational and technological approaches to the post-war restoration of infrastructural objects in Ukraine. *E3S Web of Conferences*. 2024. № 534. Pp. 01018. URL : <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202453401018>.
17. UN-Habitat III. New Urban Agenda. URL: <http://habitat3.org/wp-content/uploads/NUA-English-With-Index-1.pdf>. (дата звернення: 27.03.2025).
18. Піль А. М. Концепція розумного міста в контексті розвитку інноваційного управління. *Соціально-економічні проблеми сучасного періоду України*. 2018. № 4 (132). С. 114–118.
19. Сталій розвиток. Вікіпедія. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Сталій\\_розвиток](https://uk.wikipedia.org/wiki/Сталій_розвиток) (дата звернення: 27.03.2025).
20. Цілі сталого розвитку : Україна. Національна доповідь. URL: <https://me.gov.ua/view/22e86f94-a9dd-421e-adcb-e38748a4b7cb> (дата звернення: 27.03.2025).
21. Циркулярна економіка. Вікіпедія. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Циркулярна\\_економіка](https://uk.wikipedia.org/wiki/Циркулярна_економіка). (дата звернення: 27.03.2025).
22. Braungart M., McDonough W., Bollinger A. Cradle-to-cradle design: creating healthy emissions – a strategy for eco-effective product and system design. *Journal of Cleaner Production*. 2007. № 15 (13–14). 2007. Pp. 1337–1348. URL : <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.08.003>.
23. Mang P., Reed B. Regenerative Development and Design. In: Meyers, R.A. (eds). *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology*. Springer, New York, 2012. Pp. 8855–8879. URL : [https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0851-3\\_303](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0851-3_303).
24. WEF Nexus Index. веб-сайт. URL: <https://wefnexusindex.org/> (дата звернення: 27.03.2025).
25. Green Deal. веб-сайт. URL : <https://eu4ukraine.eu/en/greendeal-en> (дата звернення: 27.03.2025).
26. Норман Фостер Royal Design. веб-сайт. URL: <https://royaldesign.ua/ru/norman-foster.bXvmr/> (дата звернення: 27.03.2025).
27. Бьярке Ингельс. Royal Design. веб-сайт. URL: <https://royaldesign.ua/ru/byarke-ingels.bXnXR/> (дата звернення: 27.03.2025).
28. Shigeru Ban Architects. веб-сайт. URL: <https://shigerubanarchitects.com/> (дата звернення: 27.03.2025).
29. Mike Wells, Ken Yeang. Biodiversity Targets as the Basis for Green Design. *Architectural Design*. 2010. № 80 (2). Pp. 130–133. URL : <https://doi.org/10.1002/ad.1057>.
30. William McDonough. веб-сайт. URL: <https://mcdonough.com/> (дата звернення: 27.03.2025).
31. Винсент Каллебаут. Royal Design : веб-сайт. URL : <https://royaldesign.ua/ru/vinsent-kallebaut.bXnL3/> (дата звернення: 27.03.2025).
32. Устінова І. І. Методологічні основи сталого розвитку еколого-містобудівних систем : дис. ... д-ра арх. : 18.00.01. Київ : КНУБА, 2016. 479 с.

## REFERENCES

1. Donella H. Meadows, Dennis L. Meadows, J. Randers and William W. Behrens III. *The Limits to Growth. A report of the Club of Rome's Project on the predicament of mankind*. New York, 1972, 205 p. (accessed : 27 March 2025).
2. *Mizhuriadova hrupa ekspertiv zi zminy klimatu* [Intergovernmental Panel on Climate Change]. Wikipedia. (accessed : 27 March 2025). (in Ukrainian).

3. Global Risks 2006. A World Economic Forum Report. (accessed : 27 March 2025).
4. Global Risks Report 2025. 20th Edition. Insight report. World Economic Forum. (accessed : 27 March 2025).
5. Global Risks 2015. 10th Edition. Insight report. World Economic Forum. (accessed : 27 March 2025).
6. Urban heat island. Wikipedia. (accessed : 27 March 2025).
7. Ustinova I.I. and Koziatnyk I.P. *Problemy zmin klimatu u konteksti mistobudivnykh zadach* [Problems of climate change in the context of urban planning tasks]. *II-y Vseukrainskyi zizd ekolohiv z mizhnarodnoiu uchastiu (Ekolohiia / Ecology – 2009) : Zbirnyk naukovykh statei m. Vinnytsia, 23–26 veresnia 2009 r.* [II All-Ukrainian Congress of Ecologists with International Participation (Ecology–2009) : Collection of Scientific Articles Vinnytsia, September 23–26, 2009]. Vinnytsia : FOP Danylyuk, 2009, pp. 412–416. (in Ukrainian).
8. Nicholas Negroponte. *The Architecture Machine : Toward a More Human Environment* : Book, Cambridge, Massachusetts, and London, England : The MIT Press, 1970, 164 p.
9. Tristan d’Estre’e Sterk Building upon Negroponte : a hybridized model of control suitable for responsive architecture. *Automation in Construction*. 2005, no. 14 (2), pp. 225–232.
10. Kopyliak I. *Arkhitekturni idei Fridrikha Kizlera v proiektuvanni suchasnykh kulturno-vydovyshchnykh ta osvitykh ob’iektiv* [Architectural ideas of F. Kiesler in the design of contemporary cultural and entertainment objects]. *Visnyk Natsionalnoho universytetu “Lvivska politekhnikha”. Serii : “Arkhitektura”* [Journal of Lviv Polytechnic National University. Series of Architecture]. 2020, no. 2 (4), pp. 97–104. (in Ukrainian).
11. Habrel M. and Piasta Yu. *Peredumovy formuvannia hnuchkosti arkhitektury* [Prerequisites for forming a flexible housing]. *Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia* [Urban Development and Spatial Planning]. 2020, no. 75, pp. 97–113. (in Ukrainian).
12. Walker J. and Cooper M. Genealogies of resilience : From systems ecology to the political economy of crisis adaptation. *The Global Governance of Security and Finance*, 2011, no. 42 (2), pp. 143–160.
13. Leshchuk I. *Evoliutsiia teoretychnykh pidkhodiv do doslidzhennia sotsialno-ekonomichnoi rezylentnosti krainy ta rehioniv v umovakh nestabilnosti* [Evolution of theoretical approaches to research socio-economic resilience countries and regions in conditions of instability]. *Ekonomika ta suspilstvo* [Economy and Society]. 2024, no. 61. (in Ukrainian).
14. Meerow S., Newell J.P. and Stults M. Defining Urban Resilience : a review. *Landscape and Urban Planning*. 2016, no. 147, pp. 38–49.
15. *Misto 15-ty khvylyn* [The city of 15 minutes]. Wikipedia (accessed : 27 March 2025). (in Ukrainian).
16. Savytskyi M., Radkevych A., Savytskyi O., Babenko M. and Shevchenko T. Peculiarities of organizational and technological approaches to the post-war restoration of infrastructural objects in Ukraine. *E3S Web of Conferences*. 2024, no. 534, pp. 01018.
17. UN-Habitat III. *New Urban Agenda* (accessed : 27 March 2025).
18. Pin A.M. *Kontseptsiiia rozumnoho mista v konteksti rozvytku innovatsiinoho upravlinnia* [The concept of a smart city in the context of the development of innovative management]. *Sotsialno-ekonomichni problemy suchasnoho periodu Ukrainy* [Socio-economic Problems of the Modern Period of Ukraine]. 2018, no. 4 (132), pp. 114–118. (in Ukrainian).
19. *Stalyi rozvytok* [Sustainable Development]. Wikipedia (accessed : 27 March 2025). (in Ukrainian).
20. *Tsili staloho rozvytku : Ukraina. Natsionalna dopovid* [Sustainable Development Goals : Ukraine. National Report] (accessed : 27 March 2025). (in Ukrainian).
21. *Tsyrukliarna ekonomika* [Circular economy]. Wikipedia (accessed : 27 March 2025). (in Ukrainian).
22. Braungart M., McDonough W. and Bollinger A. Cradle-to-cradle design: creating healthy emissions – a strategy for eco-effective product and system design. *Journal of Cleaner Production*. 2007, no. 15 (13–14), pp. 1337–1348.
23. Mang P. and Reed B. Regenerative Development and Design. In: Meyers, R.A. (eds). *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology*. Springer, New York, 2012, pp. 8855–8879.
24. WEF Nexus Index. Web-site (accessed : 27 March 2025).
25. Green Deal. Web-site (accessed : 27 March 2025).
26. Norman Foster Royal Design. Web-site (accessed : 27 March 2025).
27. Bjarke Ingels Royal Design. Web-site (accessed : 27 March 2025).
28. Shigeru Ban Architects. Web-site (accessed : 27 March 2025).
29. Mike Wells and Ken Yeang. Biodiversity Targets as the Basis for Green Design. *Architectural Design*. 2010, no. 80 (2), pp. 130–133.
30. William McDonough. Web-site (accessed : 27 March 2025).
31. Vincent Callebaut. Royal Design. Web-site (accessed : 27 March 2025). (in Russian).
32. Ustinova I.I. *Metodolohichni osnovy staloho rozvytku ekoloho-mistobudivnykh system : dys. ... d-ra arkh. : 18.00.01.* [The methodological bases of a sustainable development of ecological-town-planning systems : diss. ... Dr. Arch. Sc. : 18.00.01]. Kyiv : KNUCEA Publ., 2016, 479 p. (in Ukrainian).

Надійшла до редакції: 12.04.2025.

УДК 711.168:712.253

DOI: 10.30838/UJCEA.2312.270425.35.1158

## ПЛАНУВАННЯ ПАРКОВИХ ЗОН НА ТЕРИТОРІЇ ЗРУЙНОВАНИХ МІСТ

ГАРКУША В. С.<sup>1\*</sup>, канд. техн. наук, доц.,  
СИМОНОВ С. І.<sup>2</sup>, канд. техн. наук, доц.,  
ПАВЛИШИН Г. Е.<sup>3</sup>, ас.

<sup>1\*</sup> Кафедра архітектури, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», юридична адреса: вул. Університетська, 7, 87555, Маріуполь, Україна, тел. +38 (099) 772-68-78, e-mail: [harkusha\\_v\\_s@pstu.edu](mailto:harkusha_v_s@pstu.edu), ORCID ID: 0000-0002-5016-0737

<sup>2</sup> Кафедра архітектури, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», юридична адреса: вул. Університетська, 7, 87555, Маріуполь, Україна, тел. +38 (050) 590-61-91, e-mail: [arhsimonov1@gmail.com](mailto:arhsimonov1@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-3921-0131

<sup>3</sup> Кафедра архітектури, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», юридична адреса: вул. Університетська, 7, 87555, Маріуполь, Україна, тел. +38 (097) 582-28-83, e-mail: [pavlyshyn\\_g\\_e@pstu.edu](mailto:pavlyshyn_g_e@pstu.edu), ORCID ID: 0009-0001-0564-4687

**Анотація. Постановка проблеми** Проведено дослідження щодо стану міст, які постраждали внаслідок воєнних дій. Визначено ступінь пошкодженості великих міст та маленьких містечок у зоні бойових дій на території України. Подано оцінку вартості проведення робіт з відбудови українських міст та наявність державних програм та механізмів, які будуть регулювати такі процеси, зроблено огляд законопроектів для відновлення пошкоджених або повністю зруйнованих населених пунктів. Проведено оцінку процесу відновлення тих територій, де наразі вже не ведуться бойові дії, та досліджено інтенсивність проведення відновлювальних робіт та зроблено оцінку наявних результатів цих робіт. Наведено пропозиції щодо відбудови повністю зруйнованих міст з урахуванням доцільності відновлення деяких із них. Запропоновано заходи щодо проведення відновлювальних робіт на щент зруйнованих територіях на основі вивчення світового досвіду після воєнної відбудови. **Аналіз публікацій** Детально розглянуто світовий досвід країн, на території яких відбувались масштабні трагедії зі значними руйнуваннями та великою кількістю людських жертв, а також детально розглянуто процеси їх вражаючих трансформацій. **Мета статті** Досліджено механізм ліквідації наслідків таких подій. **Виклад матеріалу** Описано як у результаті переходу від воюючої країни та щент зруйнованої території було створено осередок миру та приклад вшанування пам'яті жертв трагедії, яка сколихнула світ та досі живе у пам'яті людей як нагадування про болючий та не потрібний досвід. З огляду на події в Україні запропоновано створити рекреаційну зону на території міст, яких більше не існує, як данину пам'яті учасників воєнних дій на території України. Розглянуто можливість створення парку-меморіалу, присвяченому миру на українській землі. Запропонована концепція національного меморіального парку який охопить весь період бойових дій з АТО-ОС по наші дні. **Висновок** Запропоновано розбити парк-меморіал на тематичні зони зі встановленням відповідних монументів, скульптур, інсталяцій та відповідних вуличних меблів. Зроблено акцент на підборі зелених насаджень, які будуть доречними на території парку-меморіалу. Для зручності туристів запропоновано зведення готелю з усіма сучасними зручностями на території паркової зони та проведення благоустрою під'їзних доріг.

**Ключові слова:** військові дії; руйнування; катастрофа; відбудова; парк-меморіал

## PLANNING OF PARK AREAS ON TERRITORIES OF DESTROYED CITIES

HARKUSHA V.S.<sup>1\*</sup>, Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.,  
SIMONOV S.I.<sup>2</sup>, Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.,  
PAVLYSHYN G.E.<sup>3</sup>, Ass.

<sup>1\*</sup> Department of Architecture, SHEI "Azov State Technical University", legal address: 7, Universytetska St., Mariupol, 87555, Ukraine, tel. +38 (099) 772-68-78, e-mail: [harkusha\\_v\\_s@pstu.edu](mailto:harkusha_v_s@pstu.edu), ORCID ID: 0000-0002-5016-0737

<sup>2</sup> Department of Architecture, SHEI "Azov State Technical University", legal address: 7, Universytetska St., Mariupol, 87555, Ukraine, tel. +38 (050) 590-61-91, e-mail: [arhsimonov1@gmail.com](mailto:arhsimonov1@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-3921-0131

<sup>3</sup> Department of Architecture, SHEI "Azov State Technical University", legal address: 7, Universytetska St., Mariupol, 87555, Ukraine, tel. +38 (097) 582-28-83, e-mail: [pavlyshyn\\_g\\_e@pstu.edu](mailto:pavlyshyn_g_e@pstu.edu), ORCID ID: 0009-0001-0564-4687

**Abstract. Statement of the problem.** A study has been conducted on the state of cities affected by hostilities. The degree of damage to large cities and small towns in the war zone on the territory of Ukraine has been determined. An assessment of the cost of reconstruction of Ukrainian cities and the availability of state programs and mechanisms that

will regulate such processes has been submitted, a review of draft laws for the restoration of damaged or completely destroyed settlements has been made. Where hostilities are no longer taking place, and the intensity of restoration work has been investigated and the available results of these works have been assessed. **Analysis of publications.** Proposals for the reconstruction of completely destroyed cities are given, taking into account the feasibility of restoring some of them. **The purpose of the article.** Measures for restoration work in the completely destroyed territories are proposed based on the study of world experience after military reconstruction. **Presentation of the material.** The world experience of countries on the territory of which large-scale tragedies with significant destruction and a large number of human casualties took place is considered in detail, as well as the processes of their impressive transformations are considered in detail. **Conclusion** It is described how, as a result of the transition from a warring country and a completely destroyed territory, a center of peace was created and an example of honoring the memory of the victims of a tragedy that shook the world and still lives in people's memory as a reminder of painful and unnecessary experiences.

**Keywords:** military operations; destruction; catastrophe; reconstruction; memorial park

**Постановка проблеми.** Після проголошення Незалежності Україна зіткнулася з найбільшим викликом у своїй історії у вигляді агресії Росії та наймасштабнішою війною на території Європи з часів Другої Світової. Мільйони людей стали переселенцями, десятки сіл та міст було зруйновано, деякі міста зруйновано повністю. Але за тисячолітню історію свого існування людство, держави та населені пункти постійно стикалися з проблемами ліквідації наслідків різного роду факторів, що спричиняли істотні пошкодження та руйнування забудови, інфраструктури, а інколи і повне знищення міст [1, с. 326; 2, с. 159]. Після закінчення війни актуальним стане питання, що робити із цими містами і чи варто їх відновлювати. У період одного року, з моменту вторгнення Росії в Україну з 24 лютого 2022 року по 24 лютого 2023 року за підрахунками уряду України, групи Світового банку, Європейської комісії та ООН, на відновлення потрібно 411 млрд доларів [2], Вже у грудні 2023 згідно з оцінкою, загальна вартість відбудови та відновлення в Україні становить 486 мільярдів доларів США [3]. Так як війна ще йде, вартість відбудови та відновлення буде тільки зростати з кожним днем.

**Аналіз публікацій.** На даний момент в Україні немає державної програми відновлення зруйнованих територій, є лише окремі законопроекти, наразі урядовцями було розроблено законопроект, який містить лише законодавчі ініціативи щодо перших концептуальних кроків з відновлення населених пунктів. Він має назву «Програма

комплексного відновлення області (регіону) та території територіальної громади (її частини)» [4]. Процес розробки програми комплексного відновлення ділиться на три етапи, і під час кожного залучається громадськість, проводяться заходи публічного обговорення. Очевидно, що до цього обговорення будуть залучені люди, які безпосередньо зацікавлені у відновленні свого регіону. В результаті саме громада формує основні питання на своїй території і детальне розуміння того, що відбувається саме в них. Не менш важливим є покращення комунікації між місцевою владою, громадськістю та експертами, бо саме останні будуть збирати дані, розробляти завдання та плани щодо реалізації проекту, інші – виконуватимуть та контролювати процес роботи один одного, а отже, доцільність реконструкції того чи іншого населеного пункту буде визначатись у тандемі цими трьома групами [5].

Крім окремих законопроектів Уряд затвердив постанову № 382 «Про реалізацію експериментального проекту щодо відновлення населених пунктів, які постраждали внаслідок збройної агресії Російської Федерації», яка визначає шість населених пунктів, де в межах експериментального проекту відновлення проходитиме комплексно й за новими принципами, основним з яких є принцип «Build back better», тобто «відбудувати краще, ніж було». Були відібрані такі населені пункти: Бородянка і Мощун в Київській області, Тростянець у Сумській області, Посад-Покровське в Херсонській області, Циркуни в Харківській області та

Ягідне в Чернігівській області [6]. Однак аналіз реалізації цієї постанови зроблений Transparency International Ukraine виявив цілий ряд проблем, одним з яких є недостаток фінансування. Зазначимо що в постанову потрапили населенні пункти хоч зі значними пошкодженнями, але жодне з них не зруйноване повністю, наприклад у Тростянці Сумської області загальний рівень руйнувань склав трохи більше 4 % [7].

Як ми бачимо, незважаючи на засилля правил, відбудувати міста та повернути українців на Батьківщину немає єдиної державної програми з відновлення та розвитку зруйнованих війною територій, і кожна громада вирішує це питання самостійно. На наш погляд на даний момент найкраще цьому питанню відповідає програма відновлення м. Маріуполь «Маріуполь Реборн» [8], яка прогнозує, що населення міста буде менше, ніж до війни і відновиться лише через 15–20 років.

Окрім Маріуполя під час воєнних дій постраждали такі великі міста як Северодонецьк, Лисичанськ та Рубіжне та актуальним постає питання, чи варто відновлювати ці три міста окремо чи створити з цих трьох міст одну велику міську агломерацію. Загалом слід визнати, що деякі населені пункти більше не відновляться і дедалі актуальнішим стає питання, що ми хочемо бачити на деокупованих територіях і наскільки актуальним стає відновлення населених пунктів у довоєнному вигляді, адже багато житлових будинків і так доживали свій термін, а так звані «хрущовки» вже давно його зжили і так чи інакше стояло питання, що з ними робити далі, і слід було вживати заходів для їхньої деконструкції, а війна лише прискорила цей процес.

**Мета статті** — дослідити стан зруйнованих територій внаслідок військових дій та техногенних катастроф на території України та світу, оцінити стан окупованих територій, особливо невеликих населених пунктів, та визначити напрямки відбудови зруйнованих територій з урахуванням світового досвіду створення паркових зон на

післявоєнних територіях та територіях, які були зруйновані внаслідок техногенних катастроф.

**Виклад матеріалу.** Після Другої світової війни Європа лежала в руїнах. Зокрема всі міста Центральної Польщі були знищені більш ніж на половину. Але навіть на їх тлі виділялися Варшава та Гданськ, де ситуація була особливо критичною. Проте саме ці міста згодом стали прикладом післявоєнного відновлення [9]. Як ми бачимо світ знає приклади відновлення післявоєнних міст, є приклади Варшави, Гданська, Роттердама, Дрездена, але зазначимо що це великі міста, а більшість постраждалих населених пунктів України мають населення менше 100 тисяч. Наприклад згідно паспорту громади у Мар'їнській міській територіальній громаді мешкало менше 35 тисяч осіб, у тому числі у самій Мар'їнці менше 10 тисяч [10].

Вже можна зробити прогноз, що після закінчення бойових дій, населення цього міста буде у рази менше, тому актуальним стає питання, чи потрібно відновлювати місто. Мар'їнка сьогодні залишилася хіба що на картах разом з назвами своїх вулиць — Благодатна, Заводська, Зелена, Каштанова, Урожайна, Степова. Зазначимо що бої в Мар'їнці були і у 2014 році, але 1 січня 2014 року тамі жили 9 829 осіб, але після відкритої зовнішньої агресії Росії та запеклих боїв у місті, на 1 січня 23 року там жило — нуль осіб [11].

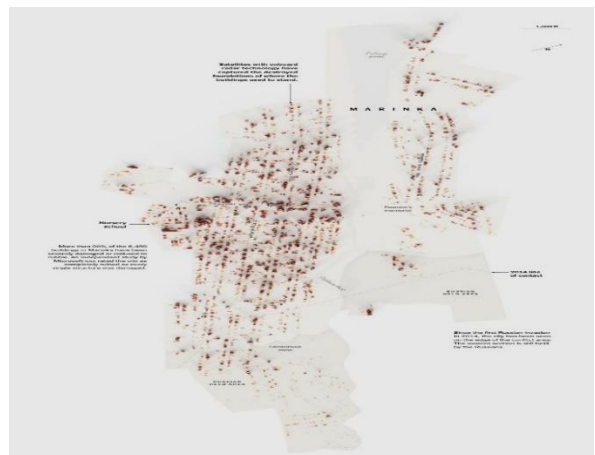


Рис. 1. Карта залишків Мар'янки



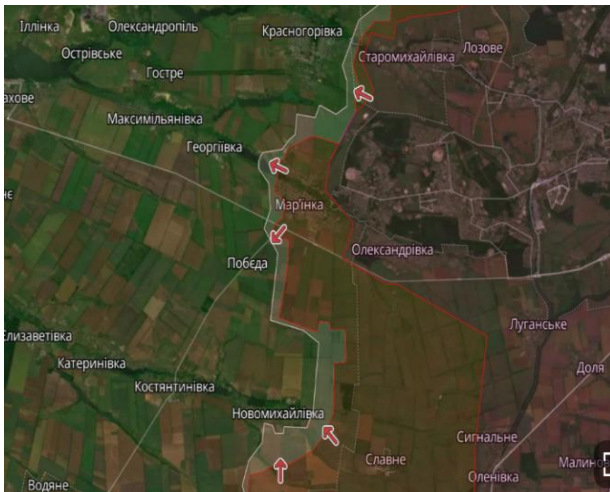


Рис. 2. Карта боїв у Мар'янці 2023 [15]

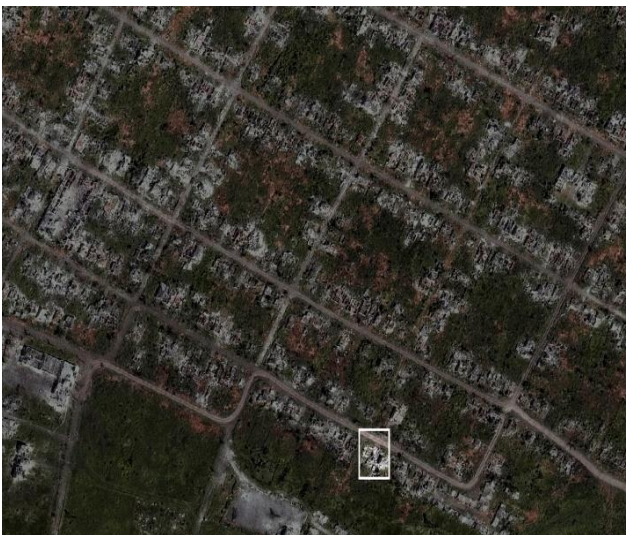


Рис. 3. Стан Мар'їнки під час бойових дій (Source: Satellite image by Maxar Technologies, June 2022 The New York Times [16])



Рис. 4. Руїни Мар'їнки [Джерело фото: Сухопутні війська ЗСУ [15]]

У даній статті ми розглянемо закордонний досвід відновлення міст і таке поняття як місто-примара, оскільки деякі населені пункти України ризикують стати такими містами примарами, коли після відновлення міської інфраструктури місцеві жителі, які виїхали звідти через війну, не повернуться назад і якщо Бахмут, Попасна та Волноваха перебувають у логістично вигідних місцях, а Авдіївка та Щастя вирости поряд зі стратегічними об'єктами, то населення Мар'їнки може не досягти довоєнного рівня, тому питання відновлення цього міста стає актуальним. На відміну Тростянця який постраждав на 4 %, Мар'їнка повністю була знищена, тому ми пропонуємо прийняти важке рішення не відновлювати це місто, а створити на його місці сучасний парк-меморіал, присвячений перемозі над Росією та пам'яті загиблих в ході російської-української війни воїнів та мирних жителів.

Створення такого парку дозволить хоч трохи відновити постраждалу екологію Донбасу, яка переживала не найкращі часи і до війни [12]. Слід зауважити, що Донецьк регулярно входив до рейтингу найзабрудненіших міст України. Парк із застосуванням сучасних тенденцій у зеленій архітектурі дозволить привернути увагу туристів і нагадуватиме, про наслідки агресії однієї країни, проти іншої, а також про ціну, яку довелося заплатити Україні, щоб відстояти свою цілісність та державність. Цей парк буде даниною пам'яті та поваги всім загиблим патріотам.

Крім того, створення парку може нести в собі ще декілька функцій, наприклад наразі температура в Україні б'є усі температурні рекорди, а вересень став найтеплішим з 1881 року [13], і гостро стоїть питання як пережити спеку, варто більше уваги приділяти паркам, які дозволяють сховатися від сонця. Донбас після закінчення війни буде у руїнах, тому Україна має можливість, повністю змінити його обличчя та зробити його менш урбанізованим, відновлюючи промисловість та постраждалу екологію у паритеті.



Після нашої перемоги та закінчення війни у кожному місті будуть місця які будуть нагадувати про війну та ціну перемоги у ній. Це буде проявлятися і в назвах вулиць, перейменованих на честь загиблих героїв війни, в деяких місцях будуть зроблені пам'ятники, вже є ідея зробити меморіал на Співочому полі на честь Героїв Азовсталі [14]. Ми пропонуємо розробити один великий меморіальний парк, на місці Мар'їнки, а сам парк розбити на декілька зон, де вхід буде нагадувати яке це місто та інші місця України були до війни, а потім парк буде розбитий на дві великі зони символізуючи два головних періоди війни, де перший період – з 2014–22 рр., а другий – з 24 лютого 2022 р. до д. ч. У першій зоні, яка буде символізувати епоху АТО–ООС, ми пропонуємо зробити нагадування про видатні та трагічні події у цей період, створення батальйонів “Айдар”, “Донбасс”, “Азов” та інші, а також видатним постатям у цей період (військовим, волонтерам, громадянським активістам). У другій зоні, все що пов'язано з подіями після 2022 року. Сам парк повинен завершуватися місцем пам'яті усім громадянам України, та іноземцям полеглим в цій війні за Незалежність України. Створення парку у Мар'їнці буде мати символічний вид як завершення епохи індустріального та промислового Донбасу, та відродження Донбасу з новим обличчям.

Світ знає чимало ситуацій коли парки робились на місці масової загибелі людей. Яскравим прикладом є Меморіальний парк миру у Хіросімі. Місто, що перетворилося в серпні 1945 року на попіл унаслідок першого в історії людства застосування атомної зброї, не тільки відновилося, але й перетворилося на світовий центр миру і найзеленіший урбан-оазис Японії. Багато японських міст було у руїнах після закінчення Другої Світової війни, але вже в листопаді 1945 року національний уряд Японії заснував Агенцію з відновлення постраждалих міст, а 30 грудня Кабінет міністрів прийняв «Основну політику реконструкції», одним із пунктів якої стало

виділення 10 % міської площі під озеленення [17].



Рис. 5. Пам'ятник «Тим, хто рятував світ»



Рис. 6. Пам'ятник «Янгол, що сурмує»

Україна теж знайома з радіоактивним забрудненням території внаслідок техногенної аварії на Чорнобильській атомній електростанції через що на території країни з'явилася територія Чорнобильської зони відчуження. На превеликий жаль, щоб зробити цю місцевість парком-меморіалом знадобиться ще не менше, ніж півстоліття. Це пов'язано з рівнем радіаційного забруднення. Катастрофа мала вибухову природу, реактор було частково зруйновано і до довкілля потрапила велика кількість радіоактивних речовин. Відбулося виверження потужністю 300 Хіросімі [18]. В м. Чорнобиль створено меморіальні зони, які вшановують пам'ять тих, хто поклав своє життя та здоров'я при ліквідації пожежі на атомній станції, а також

тих, хто загинув внаслідок цієї техногенної катастрофи. Радіоактивного ураження зазнали близько 600 000 осіб, насамперед ліквідатори катастрофи [19]. Пам'ятник пожежникам-ліквідаторам аварії на Чорнобильській АЕС представлено на рисунку 5 та пам'ятник всім, хто постраждав від цієї масштабної катастрофи представлено на рисунку 6. Зеленим зонам у місті властиві важливі функції, такі як екологічні, економічні, містоутворюючі, естетичні та ін. Саме тому зелені насадження є ефективним засобом екологічного захисту міста. У наш час коли в країні йде війна парки здобули ще одну функцію – вони дозволяють відволіктися від буденності. Для того, щоб паркові зони були максимально ефективними та відповідали

потребам сучасного міста, необхідно ретельно розробляти їх влаштування та управління, керуючись основними принципами урбаністики та ландшафтного дизайну [20].

З урахуванням того, що більшість населених пунктів де йдуть бойові дії були майже повністю знищені ми можемо, виділити навіть більше, ніж 10 % площі та зробити Мар'їнку – меморіальним парком. Частину парку можна присвятити пам'яті жертв численних військових злочинів військ агресора, наприклад як це зробили в Сандакані (Малайзія) – увіковічнити пам'ять британських та австралійських військових, які загинули у Сандаканських маршах смерті в меморіальному парку Сандакана [21].

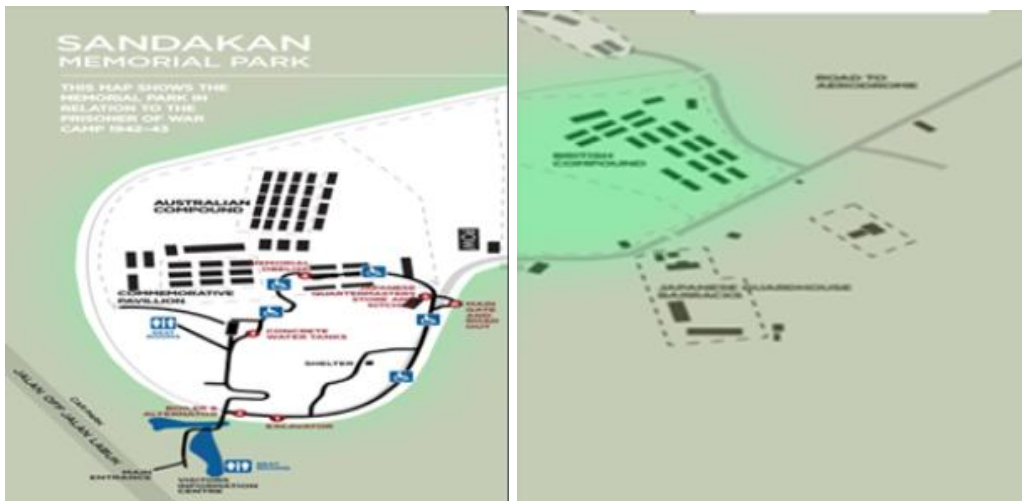


Рис. 7, 8. Карта меморіального парку в Сандакані [21]



Рис. 9. Вид меморіального парку в Меморіальний парк дас Серажейрас [22]

Слід зазначити що Друга Світова війна дала людству багато меморіальних парків,

які у тому числі присвячені радянським солдатам. Такі пам'ятники є майже у

кожному місті України, але меморіальний парк у Мар'їнці повинен повністю відрізнятись від них. Не принижуючи подвиг радянських солдат, треба відходити від радянського минулого, тому Україні потрібен свій парк національного значення, який повинен показати світу, що Україна ніколи не повернеться до радянського минулого або так званого «руського мира».

Одним із яскравих прикладів є меморіальний парк дас СЕРЕЖЕЙРАС у ЖАРДІМ АНДЖЕЛА, на півдні Сан-Паулу, створений за принципами нейроархітектури. Цей меморіальний парк покликаний допомогти людям пережити горе через практику біофілії. Парк дас СЕРЕЖЕЙРАС – це галерея просто неба скульптур, творів мистецтва та інсталяцій, створених спеціально для цього місця. Архітектори не лише вивчили релігійну та духовну сторону прощання з близькими, але й пройшли навчання у геріатрів, психіатрів та психологів, щоб краще зрозуміти горе як процес та звернулися до широкого дослідження Сінсер (Союз кладовищ і приватних крематоріїв Бразилії), в яких скорботних людей запитували, що вони шукали – більшість думали про прийняття та трансформацію [22].

## Висновок

Ми вважаємо, що після деокупації, не варто відновлювати все як це було до війни,

а потрібно створити новий житловий простір із застосуванням сучасних технологій та сучасних трендів в архітектурі та будівництві та замість можливих міст-примар, на відновлення яких піде багато часу та коштів, краще створити щось нове, наприклад рекреаційні зони з урахуванням того, що природа та екологія Донбасу, яка і до війни була не в кращому стані, постраждали ще більше. Для тих жителів Мар'їнки, які все-таки вирішать повернутися назад, потрібно побудувати житло та залучати їх до роботи парку, але навіть за найоптимістичнішими прогнозами, населення Мар'їнки не досягне довоєнного показника. Загалом ми вважаємо відновлення Мар'їнки неактуальним і пропонуємо створити на його місці меморіальний парк, який дозволить покращити екологію Донбасу, а також залучатиме туристів у регіон, що забезпечить робочі місця для місцевих жителів, які приймуть рішення повернутися. Для прибирання та підтримки парку у достойному стані потрібен буде людський ресурс, головне, що такий парк стане культурним центром, який дозволить вшанувати пам'ять усіх загиблих у цій війні за Незалежність. Такий парк стане символом нашої перемоги, який завжди нагадуватиме якою дорогою була ціна за Незалежність та Єдність українців.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Assem A., Abdelmohsen S., Ezzeldin M. Smart management of reconstruction process of post-conflict cities. *Archnet IJAR Int. J. Arch. Res.* Vol. 14. 2019. Pp. 325–343.
2. URL: <https://www.worldbank.org/uk/news/press-release/2023/03/23/updated-ukraine-recovery-and-reconstruction-needs-assessment>
3. URL: <https://www.worldbank.org/uk/news/press-release/2024/02/15/updated-ukraine-recovery-and-reconstruction-needs-assessment-released>
4. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1159-2022-%D0%BF#Text>
5. URL: <http://srd.pdaba.edu.ua:8080/bitstream/123456789/10372/1/Bondarenko.pdf>
6. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/382-2023-%D0%BF#Text>
7. URL: <https://ti-ukraine.org/research/eksperyment-z-kompleksnogo-vidnovlennya-naselenyh-punktiv-shho-vidalosya-za-rik/#section3>
8. URL: <https://remariupol.com/>
9. Gush Y. Post-war devastation. How European cities were restored after World War II. 2022. URL: <https://media.zagoriy.foundation/velyka-istoriya/pislyavovenna-rozruha-yak-vidnovlyuvaly-mista-yevropy-pislya-drugoyi-svitovoyi/>
10. URL: <https://maryinska-gromada.gov.ua/pasport-23-04-08-06-05-2021/>
11. URL: <https://www.pravda.com.ua/articles/2023/03/27/7395168/>
12. Kryvda M. Donbas for a step to an ecological catastrophe. *Voice of Ukraine*. 2015. Pp. 8–9.



13. URL: <https://suspihne.media/culture/283629-na-cest-geroiv-azovstali-vstanovlat-memorial-na-spivocomu-politam-takoz-bude-misce-pohovanna/>
14. URL: <https://zn.ua/ukr/UKRAINE/najteplishij-veresen-v-ukrhidromettsentri-rozpovili-pro-temperaturni-rekordi.html>
15. URL: <https://pragmatika.media/hirosima-rekonstrukcija-ta-nova-identifikacija-mista-pislja-drugoi-svitovoi-vijni/>
16. International Atomic Energy Agency. Environmental consequences of the accident at the Chernobyl nuclear power plant and their overcoming. Twenty years of experience. Report of the expert group “Ecology” of the Chernobyl Forum (PDF). Vienna : IAEA Publ., 2008. P. 180. ISBN 978–92–0–409307–0.
17. URL: <https://tsn.ua/ru/ato/zahvatyat-li-rossiyane-marinku-britanskaya-razvedka-ocenila-shansy-karta-2472472.html>
18. URL: <https://www.nytimes.com/interactive/2024/06/03/world/europe/ukraine-destruction.html>
19. Sources and effects of ionizing radiation. Appendix D. Health effects caused by ionizing radiation during the Chernobyl accident. Report of the UN Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (PDF). New York : UNSCEAR, 2011. P. 174. Archived from the original (PDF) on May 4, 2011.
20. Harkusha V. S., Simonov S. I., Starodub A. O., Temchenko V. O., Stavytska Y. O. Basic principles of the arrangement of park areas in the conditions of a modern city. Scientific Bulletin of Construction. 2024. № 110. Pp. 5–9.
21. URL: [https://www.dva.gov.au/sites/default/files/sandakan\\_memorial\\_park.pdf](https://www.dva.gov.au/sites/default/files/sandakan_memorial_park.pdf)
22. URL: <https://www.archdaily.com/930875/memorial-cemetery-parque-das-cerejeiras-crisa-santos-arquitectos>

## REFERENCES

1. Assem A., Abdelmohsen S. and Ezzeldin M. Smart management of reconstruction process of post-conflict cities. Archnet IJAR Int. J. Arch. Res. 2019, vol. 14, pp. 325–343.
2. URL: <https://www.worldbank.org/uk/news/press-release/2023/03/23/updated-ukraine-recovery-and-reconstruction-needs-assessment> (in Ukrainian).
3. URL: <https://www.worldbank.org/uk/news/press-release/2024/02/15/updated-ukraine-recovery-and-reconstruction-needs-assessment-released> (in Ukrainian).
4. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1159-2022-%D0%BF#Text> (in Ukrainian).
5. URL: <http://srd.pdaba.edu.ua:8080/bitstream/123456789/10372/1/Bondarenko.pdf> (in Ukrainian).
6. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/382-2023-%D0%BF#Text> (in Ukrainian).
7. URL: <https://ti-ukraine.org/research/eksperyment-z-kompleksnogo-vidnovlennya-naselenyh-punktiv-shho-vidalosa-za-rik/#section3> (in Ukrainian).
8. URL: <https://remariupol.com/> (in Ukrainian).
9. Gush Y. Post-war devastation. How European cities were restored after World War II. 2022. URL: <https://media.zagoriy.foundation/velyka-istoriya/pislyavoyenna-rozruha-yak-vidnovlyuvaly-mista-yevropy-pislya-drugoyi-svitovoi/>
10. URL: <https://maryinska-gromada.gov.ua/pasport-23-04-08-06-05-2021/> (in Ukrainian).
11. URL: <https://www.pravda.com.ua/articles/2023/03/27/7395168/> (in Ukrainian).
12. Kryvda M. Donbas for a step to an ecological catastrophe. Voice of Ukraine. 2015, pp. 8–9.
13. URL: <https://suspihne.media/culture/283629-na-cest-geroiv-azovstali-vstanovlat-memorial-na-spivocomu-politam-takoz-bude-misce-pohovanna/> (in Ukrainian).
14. URL: <https://zn.ua/ukr/UKRAINE/najteplishij-veresen-v-ukrhidromettsentri-rozpovili-pro-temperaturni-rekordi.html> (in Ukrainian).
15. URL: <https://pragmatika.media/hirosima-rekonstrukcija-ta-nova-identifikacija-mista-pislja-drugoi-svitovoi-vijni/> (in Ukrainian).
16. International Atomic Energy Agency. Environmental consequences of the accident at the Chernobyl nuclear power plant and their overcoming. Twenty years of experience. Report of the expert group “Ecology” of the Chernobyl Forum (PDF). Vienna : IAEA Publ., 2008, p. 180. ISBN 978–92–0–409307–0.
17. URL: <https://tsn.ua/ru/ato/zahvatyat-li-rossiyane-marinku-britanskaya-razvedka-ocenila-shansy-karta-2472472.html> (in Ukrainian).
18. URL: <https://www.nytimes.com/interactive/2024/06/03/world/europe/ukraine-destruction.html> (in Ukrainian).
19. Sources and effects of ionizing radiation. Appendix D. Health effects caused by ionizing radiation during the Chernobyl accident. Report of the UN Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (PDF). New York : UNSCEAR, 2011, p. 174. Archived from the original (PDF) on May 4, 2011.
20. Harkusha V.S., Simonov S.I., Starodub A.O., Temchenko V.O. and Stavytska Y.O. Basic principles of the arrangement of park areas in the conditions of a modern city. Scientific Bulletin of Construction. 2024, no. 110, pp. 5–9.
21. URL: [https://www.dva.gov.au/sites/default/files/sandakan\\_memorial\\_park.pdf](https://www.dva.gov.au/sites/default/files/sandakan_memorial_park.pdf) (in Ukrainian).
22. URL: <https://www.archdaily.com/930875/memorial-cemetery-parque-das-cerejeiras-crisa-santos-arquitectos> (in Ukrainian).

Надійшла до редакції: 21.04.2025.

УДК 349.4:711

DOI: 10.30838/UJCEA.2312.270425.43.1159

## ПРОПОЗИЦІЇ ДО ЗМІН В КОДИФІКУВАННІ ТА АКТУАЛІЗАЦІЇ ЗАКОНІВ УКРАЇНИ ПРО МІСТОБУДІВНУ ДІЯЛЬНІСТЬ

ДІКАРЕВ Б. М.<sup>1</sup>, канд. фіз.-мат. наук, проф.,  
ДІКАРЕВ К. Б.<sup>2\*</sup>, канд. техн. наук, доц.,  
СЕЛЕЦЬКИЙ В. В.<sup>3</sup>, асп.,  
КОВАЛЬ В. В.<sup>4</sup>, маг.,  
КУЦЕНКО-СКОКОВА А. О.<sup>5</sup>, канд. техн. наук, доц.

<sup>1</sup> Кафедра фундаментальних і природничих наук, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-33-51, e-mail: [dikarevboris47@gmail.com](mailto:dikarevboris47@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-0235-9573

<sup>2\*</sup> Кафедра технології будівельного виробництва, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-33-51, e-mail: [dikarev.kostiantyn@pdaba.edu.ua](mailto:dikarev.kostiantyn@pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0001-9107-3667

<sup>3</sup> Кафедра технології будівельного виробництва, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-33-51, e-mail: [fcnfenix24@gmail.com](mailto:fcnfenix24@gmail.com), ORCID ID: 0009-0000-5657-444X

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

<sup>5</sup> Кафедра технології будівельного виробництва, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-34-22, e-mail: [skokova.pgasa@gmail.com](mailto:skokova.pgasa@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-0443-0222

**Анотація. Постановка проблеми.** У сучасних умовах розвитку міст в Україні, важливою задачею є вдосконалення законодавства у сфері містобудівної діяльності. Актуальність даної теми викликана необхідністю створення ефективних механізмів управління територіями, які б забезпечували стале містобудування, підвищення якості житлового середовища та збереження екологічного балансу. Наразі існуючі закони потребують перегляду та оновлення з метою усунення прогалин у правовому регулюванні, а також адаптації до нових викликів, з якими стикається містобудівна галузь. Основними напрямками для зміни законодавства мають стати: розробка нових норм, які б враховували потреби сучасних міст, спрощення процедур отримання дозволів на будівництво, впровадження електронних платформ для моніторингу та контролю за виконанням містобудівельних проєктів, а також забезпечення прозорості у прийнятті рішень на всіх етапах містобудівного процесу. Окрім того, важливо врахувати екологічні аспекти у містобудівному законодавстві, що включає стандарти щодо збереження природних ресурсів, енергоефективності та сталого розвитку. **Мета статті** полягає в аналізі існуючих норм законодавства України у сфері містобудівної діяльності, виявленні їхніх недоліків та формулюванні пропозицій щодо внесення змін, які б сприяли розвитку містобудування в Україні та задоволенню потреб населення. **Висновок.** Пропозиції до змін у кодифікації та актуалізації законів України про містобудівну діяльність є критично важливими для забезпечення ефективності управління територіями, поліпшення якості життя населення та розвитку сталого міського середовища. Впровадження комплексних змін у законодавство дозволить зменшити бюрократичні перепони, залучити інвестиції в містобудування та забезпечити екологічну безпеку в Україні.

**Ключові слова:** містобудівна діяльність; законодавство України; екологічні стандарти; сталий розвиток; інвестиції; управління територіями; прозорість; енергоефективність; містобудівельні проєкти

## PROPOSALS FOR CHANGES IN THE CODIFICATION AND UPDATE OF UKRAINIAN LAWS ON URBAN PLANNING ACTIVITIES

DIKAREV B.M.<sup>1</sup>, Ph. D. (Phys.-Math.), Prof.,  
DIKAREV K.B.<sup>2\*</sup>, Ph. D. (Tech.), Assoc. Prof.,  
SELETSKYI V.V.<sup>3</sup>, Postgrad. Stud.,  
KOVAL V.V.<sup>4</sup>, Master's degree holder,  
KUTSENKO-SKOKOVA A.O.<sup>5</sup>, PhD., Assoc. Prof.

<sup>1</sup> Department of Fundamental and Natural Sciences, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (056) 756-33-51, e-mail: [dikarevboris47@gmail.com](mailto:dikarevboris47@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-0235-9573

<sup>2\*</sup> Department of Construction Technologies, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (056) 756-33-51, e-mail: [dikarev.kostiantyn@pdaba.edu.ua](mailto:dikarev.kostiantyn@pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0001-9107-3667

<sup>3</sup> Department of Construction Technologies, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (056) 756-33-51, e-mail: [fcnfenix24@gmail.com](mailto:fcnfenix24@gmail.com), ORCID ID: 0009-0000-5657-444X

<sup>4</sup> Department of Public Administration, Dnipro State Agrarian and Economic University, 25, Serhiy Yefremov St., Dnipro, 49009, Ukraine, tel. +38 (056) 371-08-21, email: [valery.valeriyovich.koval.27@gmail.com](mailto:valery.valeriyovich.koval.27@gmail.com), ORCID ID: 0009-0000-5875-1497

<sup>5</sup> Department of Construction Technologies, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-22, e-mail: [skokova.pgasa@gmail.com](mailto:skokova.pgasa@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-0443-0222

**Abstract. Problem Statement.** In the current context of urban development in Ukraine, a key task is to improve the legislation in the field of urban planning activities. The relevance of this topic arises from the need to create effective mechanisms for managing territories that ensure sustainable urban development, enhance the quality of the living environment, and maintain ecological balance. At present, existing laws require review and updates to eliminate gaps in legal regulation and adapt to new challenges faced by the urban planning sector. The main directions for legislative change should include the development of new regulations that take into account the needs of modern cities, simplification of the procedures for obtaining construction permits, implementation of electronic platforms for monitoring and controlling the execution of urban development projects, as well as ensuring transparency in decision-making at all stages of the urban planning process. Furthermore, it is essential to consider ecological aspects in urban planning legislation, including standards for the conservation of natural resources, energy efficiency, and sustainable development. The aim of the article is to analyze the existing norms of Ukraine's legislation in the field of urban planning, identify their shortcomings, and formulate proposals for amendments that would promote the development of urban planning in Ukraine and meet the needs of the population. **Conclusion.** Proposals for changes in the codification and update of Ukrainian laws on urban planning activities are critically important for ensuring effective territory management, improving the quality of life for the population, and fostering the development of a sustainable urban environment. The implementation of comprehensive changes in legislation will reduce bureaucratic obstacles, attract investments in urban development, and ensure ecological safety in Ukraine.

**Keywords:** *urban planning activities; legislation Ukraine; ecological standards; sustainable development; investments; territory management; transparency; energy efficiency; urban development projects*

**Постановка проблеми.** Існуюча правова база, що регулює містобудівну діяльність в Україні, дедалі більше не відповідає сучасним вимогам та викликам урбаністичного розвитку. Чинне законодавство містить застарілі норми та численні прогалини, які ускладнюють реалізацію стратегій просторового планування, ефективне управління територіями та сприяння сталому розвитку. Нечіткість нормативно-правових актів призводить до правової невизначеності, що перешкоджає ефективному інвестуванню в будівельну галузь, ускладнює процес погодження містобудівної документації та створює корупційні ризики.

Зростаючі вимоги до раціонального використання земельних ресурсів, охорони навколишнього середовища та забезпечення комфортного життєвого простору обумовлюють необхідність комплексного перегляду законодавчих

норм у сфері містобудування. Проблеми екологічної безпеки, енергоефективності будівництва та впровадження сучасних урбаністичних підходів вимагають інтеграції європейських стандартів у національну законодавчу систему. Також важливо усунути адміністративні бар'єри, які уповільнюють реалізацію інфраструктурних проєктів і гальмують розвиток будівельного сектору.

Відповідно, ключовим завданням є оновлення та систематизація законодавства України про містобудівну діяльність для забезпечення його актуальності та відповідності сучасним викликам. Зокрема, необхідно удосконалити механізми містобудівного регулювання, оптимізувати процедури отримання дозвільної документації, підвищити прозорість ухвалення рішень і посилити підзвітність уповноважених органів. Комплексна реформа у цій сфері сприятиме ефективнішому управлінню міським

розвитком, залученню інвестицій і підвищенню якості життя населення.

**Аналіз публікації.** Дослідження даного питання можна спостерігати у працях українських дослідників, таких як В. О. Баранов, В. М. Вакуленко, А. І. Мартинюк, М. В. Ізарова, В. В. Мещеряков. В їхніх наукових працях висвітлюються проблеми нормативно-правового забезпечення містобудівної діяльності, аналізується ефективність чинних законодавчих актів та пропонуються шляхи їх удосконалення. Значна увага приділяється питанням правового регулювання просторового планування, земельного управління, екологічних аспектів урбаністичного розвитку та забезпечення сталого розвитку територій.

Серед ключових напрямів досліджень виділяється аналіз гармонізації національного законодавства у сфері містобудування із європейськими правовими нормами та стандартами. Також важливим аспектом є дослідження правових механізмів регулювання інфраструктурних проєктів, зокрема спрощення процедур отримання дозвільної документації та мінімізації адміністративних бар'єрів. Окрему увагу вчені приділяють питанням децентралізації повноважень у сфері управління територіями, що сприяє підвищенню ефективності місцевого самоврядування та покращенню містобудівної політики.

Перспективними є дослідження у напрямі впровадження цифрових технологій та геоінформаційних систем у сферу містобудівного регулювання. Використання сучасних інформаційних платформ та електронного документообігу дозволяє підвищити прозорість прийняття рішень, забезпечити ефективний моніторинг забудови та поліпшити взаємодію між органами влади, забудовниками та громадськістю. Комплексний підхід до дослідження цих питань сприятиме розробці дієвих механізмів правового регулювання містобудівної діяльності, що відповідатимуть сучасним викликам урбаністичного розвитку.

**Виклад матеріалу.** Характеризуючи містобудівну діяльність як об'єкт юридичного регулювання, слід зазначити, що в Україні функціонує значна кількість нормативно-правових актів, спрямованих на регулювання матеріально-просторового середовища, в якому здійснюється життєдіяльність людини. Проте аналіз правозастосовної практики свідчить про наявність численних розбіжностей між цими актами, що суттєво ускладнює їх ефективне використання. Найбільше проблем виникає через невідповідність і несистемність термінології, що використовується у сфері містобудування, що призводить до юридичних колізій і неоднозначності у правозастосуванні. Такі суперечності можуть створювати перешкоди для реалізації містобудівних проєктів, затримувати процес отримання дозвільної документації та знижувати рівень правової визначеності у регулюванні містобудівної діяльності.

У зв'язку з цим ми вважаємо необхідним зосередитися на дослідженні сутності поняття «містобудівна діяльність», оскільки його чітке визначення є основоположним для всього комплексу нормативно-правових актів, що регулюють цю сферу. Відсутність єдиної термінологічної бази може спричинити неоднозначність у тлумаченні законодавчих норм, що своєю чергою ускладнює формування єдиної державної політики у сфері містобудування. Удосконалення правового визначення цього поняття сприятиме підвищенню якості законодавчого регулювання, усуненню суперечностей між правовими нормами та забезпеченню більш ефективного правозастосування. Таким чином, аналіз понятійного апарату містобудівного законодавства є важливим етапом у напрямі реформування нормативно-правової бази та підвищення її відповідності сучасним вимогам містобудівної політики.

Аналіз наукових робіт демонструє існування різних підходів до визначення поняття «містобудівна діяльність». Зокрема, можна виділити два основні підходи: широкий та вузький.



Прихильники широкого підходу (таких як В. О. Баранов, В. М. Вакуленко, А. І. Мартинюк, В. В. Мещеряков та інші) вважають, що містобудівна діяльність охоплює різноманітні види діяльності багатьох осіб, які сприяють формуванню якісного середовища для життя в межах окремих населених пунктів і всієї території України. Натомість прихильники вузького підходу (такі як О. В. Єрхов, І. О. Ізарова, М. В. Темников) вважають, що містобудівна діяльність зводиться лише до будівельних і архітектурних аспектів.

Висловлюючи власну думку з цього питання, ми схилиємося до широкого розуміння терміна «містобудівна діяльність», але з певними корективами. Важливо зазначити, що вдосконалення термінології є критично важливим, адже законодавство має бути зрозумілим та точним з обох цих точок зору. Нажаль, цього не можна стверджувати про чинне законодавство у сфері містобудування. Відтак, постає питання доцільності існування двох законів, які охоплюють однакові предмети правового регулювання — Закону України «Про основи містобудування» та Закону України «Про регулювання містобудівної діяльності». Ці закони були прийняті в різні часи і епохи, що призвело до численних протиріч у їх змісті, включаючи термінологічні аспекти [1, с. 22–26].

На нашу думку, найкращим виходом з цієї ситуації було б визнати Закон України «Про основи містобудування» недійсним, при цьому перенести окремі його положення, які відповідають сучасним вимогам, до Закону України «Про регулювання містобудівної діяльності».

Наступним кроком має стати уніфікація всіх термінів, що використовуються в чинному законодавстві у сфері містобудівної діяльності, а також введення нових, необхідних для кращого розуміння визначення «містобудівна діяльність». Зокрема, ми вважаємо, що до юридичного обігу має бути введений термін «суб'єкти містобудівної діяльності». У чинному Законі України «Про регулювання містобудівної діяльності» згадується інша

категорія — «суб'єкти містобудування», до яких законодавець відносить органи виконавчої влади, Верховну Раду Автономної Республіки Крим, Раду Міністрів Автономної Республіки Крим, органи місцевого самоврядування, фізичних та юридичних осіб. Проте, на наш погляд, цей перелік є неповним як з точки зору змісту статті 6 названого закону, так і з точки зору частини 2 статті 5 Проекту Містобудівного кодексу України від 29.09.2009 № 5181.

Отже, ми пропонуємо до суб'єктів містобудівної діяльності віднести Верховну Раду України, Президента України, Кабінет Міністрів України, Верховну Раду та Раду Міністрів Автономної Республіки Крим, центральні та місцеві органи виконавчої влади, органи місцевого самоврядування, об'єднання громадян, юридичних та фізичних осіб. Це допоможе створити більш чітку та узгоджену правову базу для містобудівної діяльності в Україні [2, с. 280–286].

Складові елементи містобудівної діяльності вимагають розширеного аналізу та систематизації, оскільки вони визначають основні напрями розвитку урбаністичного простору та є ключовими для регулювання містобудівних процесів. На сьогодні, відповідно до статті 1 Закону України «Про основи містобудування», містобудівна діяльність охоплює такі аспекти, як прогнозування розвитку населених пунктів і територій, планування, забудову територій, проектування, будівництво, реконструкцію, реставрацію, реабілітацію об'єктів містобудівної діяльності, а також створення інженерної та транспортної інфраструктури. Ці елементи забезпечують комплексний підхід до просторового розвитку, враховуючи соціальні, економічні та екологічні чинники, що впливають на формування міського середовища.

Законодавче визначення зазначених складових забезпечує системність та правову визначеність у сфері містобудування, однак сучасні тенденції розвитку міст вимагають перегляду підходів до регулювання містобудівної діяльності. Розвиток цифрових технологій,

зростаючі вимоги до екологічної безпеки та енергоефективності, необхідність інтегрованого просторового планування зумовлюють потребу у вдосконаленні правових механізмів управління містобудівними процесами. Важливо не лише забезпечити узгодженість між різними складовими містобудівної діяльності, а й створити ефективні інструменти моніторингу та контролю їх реалізації. Саме тому подальші дослідження у цій сфері повинні бути спрямовані на аналіз існуючих правових норм та розробку рекомендацій щодо їх удосконалення відповідно до сучасних викликів урбаністичного розвитку.

Проте, аналіз положень Закону України «Про регулювання містобудівної діяльності» і Закону України «Про основи містобудування» вказує на те, що до цього переліку варто додати такі елементи, як зонування територій України та її частин (груп областей), територій Автономної Республіки Крим, областей і адміністративних районів, а також створення соціальної інфраструктури (ч. 1 ст. 4 Закону України «Про регулювання містобудівної діяльності»). До того ж, слід включити здійснення архітектурної діяльності (ст. 2 Закону України «Про основи містобудування») та створення соціальної, виробничої, транспортної, комунікаційно-інформаційної, інженерної та природоохоронної інфраструктури (ст. 19 Закону України «Про основи містобудування», ст. 2 Закону України «Про регулювання містобудівної діяльності»).

Важливим аспектом створення об'єкта містобудівної діяльності є необхідність доповнення статті 1 Закону України «Про основи містобудування» такими складовими, як прийняття спорудженого об'єкта в експлуатацію, знесення (передбачене ст. 4 Закону України «Про архітектурну діяльність») та різні види ремонту (поточний, середній і капітальний), а також благоустрій об'єкта містобудування, консервація незавершеного об'єкта містобудування [3, с. 217–218].

Виходячи з наведених висновків та пропозицій, ми формуємо таке визначення терміна «містобудівна діяльність»: це цілеспрямована діяльність суб'єктів містобудівної діяльності, спрямована на створення і підтримання якісного середовища для життя людини. Вона охоплює широкий спектр процесів, які забезпечують гармонійний розвиток територій та населених пунктів відповідно до економічних, соціальних і екологічних вимог. До основних складових містобудівної діяльності належить прогнозування розвитку населених пунктів і територій, що є необхідним для визначення стратегічних напрямів їх просторового розвитку та запобігання хаотичній забудові. Планування та зонування територій виступають важливими етапами містобудівного процесу, оскільки вони визначають функціональне призначення окремих зон, встановлюючи межі забудови, регулюючи щільність населення та сприяючи раціональному використанню земельних ресурсів.

Реконструкція населених пунктів і територій є важливим напрямом містобудівної діяльності, який спрямований на оновлення застарілої забудови та адаптацію міських просторів до сучасних умов. Архітектурна діяльність забезпечує естетичну складову містобудівного процесу, формуючи гармонійне та комфортне середовище для мешканців. Будівництво нових об'єктів є центральним елементом містобудівної діяльності, який включає не лише зведення житлових, громадських і промислових споруд, а й реалізацію інженерних рішень, що забезпечують функціонування міської інфраструктури. До містобудівної діяльності також належать консервація незавершених об'єктів, прийняття споруджених будівель в експлуатацію, здійснення різних видів ремонту, знесення аварійних об'єктів та благоустрій територій, що сприяє покращенню міського ландшафту та підвищенню рівня комфорту мешканців.

Окрему увагу слід приділити створенню соціальної, інженерної,

виробничої, транспортної, природоохоронної та комунікаційно-інформаційної інфраструктури як невід’ємних складових містобудівної діяльності. Соціальна інфраструктура охоплює об’єкти освіти, охорони здоров’я, культури та спорту, що є важливими для забезпечення якісного рівня життя населення. Інженерна та виробнича інфраструктура включає системи водопостачання, каналізації, енергозабезпечення та підприємства, що забезпечують економічну стабільність територій. Транспортна інфраструктура відіграє ключову роль у розвитку міст, сприяючи мобільності населення та ефективному функціонуванню господарських зв’язків. Природоохоронна інфраструктура забезпечує екологічну стабільність, а комунікаційно-інформаційна – створює умови для впровадження сучасних технологій управління містобудівними процесами.

### Висновок

Актуалізація та кодифікація законодавства України у сфері містобудівної діяльності є ключовим чинником для забезпечення ефективного управління територіями, оптимізації просторового планування та створення умов для стійкого містобудування. Сучасні виклики урбанізації, зростаюче навантаження на інфраструктуру та необхідність раціонального використання земельних ресурсів вимагають системного оновлення нормативно-правової бази. Удосконалення містобудівного законодавства має сприяти забезпеченню балансу між економічними, екологічними

та соціальними аспектами розвитку населених пунктів, що є основою для досягнення сталого урбаністичного розвитку.

Пропозиції щодо змін у правовому регулюванні повинні бути спрямовані на усунення прогалин у чинній нормативно-правовій базі, спрощення процедур отримання дозвільної документації, зменшення адміністративного навантаження на суб’єктів містобудівної діяльності. Важливо також враховувати необхідність впровадження цифрових технологій та автоматизованих систем для моніторингу і контролю містобудівних процесів, що сприятиме підвищенню прозорості управлінських рішень. Крім того, гармонізація термінології та стандартів у сфері містобудування дозволить уникнути юридичних колізій, полегшити правозастосування та сприяти більш ефективній реалізації містобудівних проєктів.

Окрему увагу необхідно приділити екологічним аспектам містобудування, зокрема збереженню природного середовища, енергоефективності будівництва та розвитку «зелених» технологій. Прозорість ухвалення рішень і активна участь громадськості у процесі планування територій є важливими умовами для забезпечення соціальної справедливості та довіри до органів влади. Загалом, комплексний підхід до оновлення законодавства сприятиме підвищенню якості житлового середовища, залученню інвестицій, розвитку сучасної інфраструктури та забезпеченню сталого розвитку міст в Україні.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Заяць Т. Проблеми державного регулювання інноваційної діяльності в будівництві. *Економічний простір*. 2020. № 162. С. 23–29.
2. Ісаєнко Д. Законодавче регулювання діяльності в будівельній галузі. Особливості світового досвіду та європейського підходу до визначення пріоритетів при формуванні життєвого середовища. *Будівельне виробництво*. 2017. № 63 (2). С. 11–15.
3. Козич О. М. Державне регулювання будівельної діяльності галузі України. *Публічне управління : теорія та практика*. 2012. № 3 (11). С. 138–142.
4. Оласюк В. Державне регулювання економіки будівельної галузі. *Наукові тенденції постіндустріального суспільства : матер. конф. МЦНД*. 2020. С. 15–17.

## REFERENCES

1. Zayats T. *Problemy derzhavnoho rehulyuvannya innovatsiynoyi diyal'nosti v budivnytstvi* [Problems of state regulation of innovative activities in construction]. *Ekonomichnyy prostir* [Economic Space]. 2020, no. 162, pp. 23–29. (in Ukrainian).
2. Isayenko D. *Zakonodavche rehulyuvannya diyal'nosti v budivel'niy haluzi. Osoblyvosti svitovoho dosvidu ta yevropeys'koho pidkhodu do vyznachennya priorytetiv pry formuvanni zhyttyevoho seredovyshcha* [Legislative regulation of activities in the construction industry. Features of global experience and the European approach to defining priorities in shaping the living environment]. *Budivel'ne vyrobnytstvo* [Construction Production]. 2017, no. 63 (2), pp. 11–15. (in Ukrainian).
3. Kozych O.M. *Derzhavne rehulyuvannya budivel'noi diyal'nosti haluzi Ukraïny* [State regulation of construction activities in Ukraine]. *Publichne upravlinnya : teoriya ta praktyka* [Public Administration : Theory and Practice]. 2012, no. 3 (11), pp. 138–142. (in Ukrainian).
4. Olasyuk V. *Derzhavne rehulyuvannya ekonomiky budivel'noyi haluzi* [State regulation of the construction industry economy]. *Naukovi tendentsiyi postindustrial'noho suspil'stva : mater. konf. MTSND* [Scientific Trends of Post-Industrial Society : materials of the MCND's conference]. 2020, pp. 15–17. (in Ukrainian).

Надійшла до редакції: 01.05.2025.

УДК 624.012.35, 624.012.35-183.4, 624.012.4-183.2  
DOI: 10.30838/UJCEA.2312.270425.50.1160

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСТОСУВАННЯ НЕЗНІМНОЇ ОПАЛУБКИ ДЛЯ СКОРОЧЕННЯ ТЕРМІНІВ БУДІВНИЦТВА МАЛОПОВЕРХОВИХ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД

ДІКАРЕВ К. Б.<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доц.,  
МОВЧАН О. Ю.<sup>2\*</sup>, асп.,  
КУЦЕНКО-СКОКОВА А. О.<sup>3</sup>, канд. техн. наук, доц.,  
СОПІЛЬНЯК А. М.<sup>4</sup>, канд. техн. наук, доц.,  
ПАПІРНИК Р. Б.<sup>5</sup>, канд. техн. наук, доц.

<sup>1</sup> Кафедра технології будівельного виробництва, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-34-22, e-mail: [kdikarev@ukr.net](mailto:kdikarev@ukr.net), ORCID ID: 0000-0001-9107-3667

<sup>2\*</sup> Кафедра технології будівельного виробництва, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-34-22, e-mail: [movchan.olexandr@gmail.com](mailto:movchan.olexandr@gmail.com), ORCID ID: 0009-0002-4430-683X

<sup>3</sup> Кафедра технології будівельного виробництва, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-34-22, e-mail: [skokova.pgasa@gmail.com](mailto:skokova.pgasa@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-0443-0222

<sup>4</sup> Кафедра нарисної геометрії та графіки, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-34-22, e-mail: [sopilniak.artem@pdaba.edu.ua](mailto:sopilniak.artem@pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0002-3067-0529

<sup>5</sup> Кафедра технології будівельного виробництва, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-33-51, e-mail: [ruslan.b.papirnyk@pdaba.edu.ua](mailto:ruslan.b.papirnyk@pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0001-7153-9378

**Анотація. Постановка проблеми.** Для відновлення України після масштабних руйнацій внаслідок збройної агресії необхідно дослідити способи швидкого та економічно доцільного будівництва. Одним із перспективних рішень є застосування незнімної опалубки, що спрощує процес бетонування, підвищує енергоефективність та дозволяє скоротити строки зведення об'єктів. **Мета статті.** Провести літературний огляд робіт, присвячених використанню незнімних опалубок, зокрема сучасних технологій та матеріалів. Передбачено оцінити переваги й недоліки таких систем, проаналізувати їхню сумісність із локальною сировиною, а також потенціал залучення до монтажу фахівців нижчої кваліфікації без зниження якості конструкцій. **Висновок.** Досліджено досвід використання незнімної опалубки в Україні та за кордоном. Розглянуто ключові тенденції розвитку: забезпечення енергоефективності завдяки теплоізоляційним вставкам, підвищення несучої здатності через залучення композитних матеріалів, а також використання пластику та скловолокон для захисту від корозії й зменшення ваги. Проаналізовано два основні типи незнімної опалубки: ту, що включається до роботи конструкції (армоцементна, залізобетонна, металеві листи тощо), і ту, що не бере участі у спільній роботі та виконує допоміжні функції (наприклад, склофібробетонні чи полімерні панелі). Визначено, що нині бракує досліджень щодо використання локальних будівельних матеріалів, властивих Україні (піски, вапняки, відходи металургійного виробництва), які можуть зменшити собівартість опалубки та логістичні витрати. Світовий досвід свідчить про ефективність незнімної опалубки у житловому та промисловому будівництві, а також про перспективність її впровадження у мостобудуванні й у складних конструкціях, де потрібна підвищена довговічність. Згаданий підхід дає змогу скоротити час виконання робіт і зменшити кількість відходів за рахунок відсутності етапу демонтажу. У підсумку, незнімна опалубка є ефективним інструментом прискореного будівництва та відновлення зруйнованих об'єктів. Подальші дослідження мають бути спрямовані на розробку конструкцій, що базуються на вітчизняній сировині, на оптимізацію форми блоків і методів монтажу, а також на оцінку можливості ширшого залучення до монтажу кадрів нижчої кваліфікації. Це сприятиме зниженню вартості будівництва, забезпечуючи належну якість та довговічність створюваних споруд.

**Ключові слова:** незнімна опалубка; швидкий монтаж; локальні матеріали

## RESEARCH ON THE USE OF PERMANENT FORMWORK TO REDUCE CONSTRUCTION TIME FOR LOW-RISE BUILDINGS AND STRUCTURES

DIKAREV K.B.<sup>1</sup>, *PhD. (Tech.), Assoc. Prof.*,  
MOVCHAN O.Yu.<sup>2\*</sup>, *Postgrad. Stud.*,  
KUTSENKO-SKOKOVA A.O.<sup>3</sup>, *PhD., Assoc. Prof.*,  
SOPILNIAK A.M.<sup>4</sup>, *PhD. (Tech.), Assoc. Prof.*,  
PAPIRNYK R.B.<sup>5</sup>, *PhD. (Tech.), Assoc. Prof.*

<sup>1</sup> Department of Construction Technologies, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-22, e-mail: [kdikarev@ukr.net](mailto:kdikarev@ukr.net), ORCID ID: 0000-0001-9107-3667

<sup>2\*</sup> Department of Construction Technologies, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-22, e-mail: [movchan.olexandr@gmail.com](mailto:movchan.olexandr@gmail.com), ORCID ID: 0009-0002-4430-683X

<sup>3</sup> Department of Construction Technologies, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-22, e-mail: [skokova.pgasa@gmail.com](mailto:skokova.pgasa@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-0443-0222

<sup>4</sup> Department of Descriptive Geometry and Graphics, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-22, e-mail: [sopilniak.artem@pdaba.edu.ua](mailto:sopilniak.artem@pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0002-0443-0222

<sup>5</sup> Department of Construction Technologies, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (056) 756-33-51, e-mail: [ruslan.b.papirnyk@pdaba.edu.ua](mailto:ruslan.b.papirnyk@pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0001-7153-9378

**Abstract. Problem Statement.** In order to restore Ukraine after the extensive destruction caused by armed aggression, it is necessary to explore methods of rapid and cost-effective construction. One promising solution is the use of permanent formwork, which simplifies the concreting process, improves energy efficiency, and shortens the time needed for erecting facilities. **Purpose of the Article.** To conduct a literature review of works devoted to the use of permanent formwork, focusing on modern technologies and materials. The goal is to assess the advantages and disadvantages of such systems, analyze their compatibility with locally sourced raw materials, and explore the possibility of involving lower-skilled workers in installation without compromising the quality of the structures. **Conclusion.** The paper examines the experience of using permanent formwork in Ukraine and abroad. Key development trends are considered: achieving energy efficiency through thermal insulation inserts, increasing load-bearing capacity with the help of composite materials, and employing plastics and glass fibers for corrosion protection and weight reduction. Two main types of permanent formwork are analyzed: the kind that is integrated into the structure's load-bearing system (ferrocement, reinforced concrete, metal sheets, etc.) and the kind that does not contribute to the structure's overall capacity but serves auxiliary functions (e.g., glass-fiber-reinforced concrete or polymer panels). It has been determined that there is currently a lack of research on using local Ukrainian building materials (such as sand, limestone, and metallurgical waste) that could help reduce formwork costs and logistical expenses. Global experience indicates the effectiveness of permanent formwork in residential and industrial construction, as well as the potential for its use in bridge-building and other complex structures requiring enhanced durability. This approach helps shorten construction times and reduce waste by eliminating the dismantling stage. In summary, permanent formwork is an effective tool for accelerated construction and restoration of damaged facilities. Further research should focus on developing systems that rely on domestic raw materials, optimizing block shapes and installation methods, and assessing the possibility of broader involvement of lower-skilled labor. This would help reduce building costs while maintaining the required quality and durability of the resulting structures.

**Keywords:** *permanent formwork; rapid assembly; local materials*

**Актуальність.** Станом на червень 2023 року, за даними Київської школи економіки (KSE – Kyiv School of Economics) загальна сума збитків, завданих Україні через російську агресію та повномасштабне вторгнення оцінюється у \$150,5 млрд [10]. Серед них на житлові будівлі припадає 55,9 млрд, що складає 37 % від загальних

збитків. Це, за приблизними підрахунками, 167,2 тис. будівель, серед яких 147,8 тис. грн – це приватні будівлі, 19,1 тис. грн – багатоквартирні і близько 350 гуртожитків. На активи підприємств і промисловість припадає 11,4 млрд грн (7,5 %). Це, щонайменше, 426 великих та середніх підприємств.

За даними МВФ, населення України з 2021 по квітень 2024 року через воєнні дії і тимчасову окупацію територій скоротилося на 19 % [16]. Це пропорційно зменшує кількість наявних в Україні спеціалістів будівельної галузі.

У 2023 році Кабінетом Міністрів України була прийнята постанова про реалізацію експериментального проекту з відбудови населених пунктів, які постраждали внаслідок збройної агресії російської федерації [4].

Одним із методів скорочення термінів будівництва може бути використання незнімної опалубки. Незнімна опалубка – це блоки або панелі з різних матеріалів, які монтують в єдину монолітно-опалубну конструкцію [1]. Головною особливістю незнімної опалубки є те, що вона після процесу твердіння бетону не демонтується, а залишається частиною конструкції.

**Метою статті** є дослідження сучасних технологій незнімних опалубок, які сьогодні є поширеними в Україні та світі. Необхідно виявити, як можна застосувати незнімну опалубку для зведення будівель і споруд в короткі терміни, дослідити існуючі проблеми використання незнімної опалубки,

оцінити переваги та недоліки її застосування.

Необхідно визначити, які технології монтажу незнімної опалубки підходять для швидкого зведення малоповерхових будівель та споруд, а також виявити матеріали для виготовлення незнімної опалубки, що дають змогу знизити її вартість та масу.

**Аналіз публікацій.** Досвід швидкого відновлення країни у повоєнний час дослідили у своїй роботі В. Даценко, О. Дмитренко, В. Курило, В. Набок «Політика після війни та стихійного лиха: досвід восьми країн» де розглянуто, як різні країни проходили шлях відбудови [3]. Наголошується, що швидкі темпи будівництва – це одна із запорук успішного відновлення зруйнованих територій.

М. Битько та В. Бойко у своїй статті виділили наступні способи класифікації незнімних опалубок – за формою, за матеріалом, за товщиною стінки. За формою це можуть бути – кутові, проміжні, для стін з нестандартними кутами. За матеріалом опалубки – полістирол, штучний камінь, дерево у вигляді тріски, тощо.



Рис. 1. Класифікація незнімної опалубки

У роботах українських вчених М. Ковалю, А. Фаля та С. Стояновича незнімні опалубки для залізобетонних плит проїзної частини мостів досліджується можливість використання незнімної опалубки під час їх будівництва [5; 6]. Автори пропонують класифікувати опалубку як ту, що включається в сумісну роботу плити (армоцементна, деревостружкова на цементному розчині, залізобетонна, металева), так і на ту, що не

включається в сумісну роботу з плитою (склофібробетонна, пластикова з армуванням скловолокном). В результаті дослідження, автори статті встановили, що незнімну опалубку доцільно використовувати для влаштування перекриття мостів, при чому, вона самостійно здатна витримувати навантаження матеріалу при влаштуванні перекриття, після чого може бути включена в роботу несучої конструкції. Отже, можна



буде розглянути можливість використання незнімної опалубки також і для влаштування перекриттів будівель.

Будівельні матеріали, технології та форми для виготовлення незнімної опалубки, а також їхні комбінації постійно вдосконалюються.

Наприклад, у дослідженні малазійських учених [11] запропоновано використання незнімної опалубки із деревоволокнистих панелей з використанням цементу в якості в'язучого матеріалу (рис. 2, д). Додатково була досліджена здатність опору пожежі, згідно європейських стандартів з пожежної

безпеки BS 476-22:1987. У згаданих вище нормах конструкція має безперервно витримувати 2 години пожежі. Натурний експеримент показав, що конструкція виявилася пожежестійкою.

В роботі [22] китайські вчені дослідили незнімну опалубку для балок U-подібного перерізу. Для цього були обрані балки, виготовлені із композитних цементних матеріалів різної товщини (рис. 2, з). Як результат – несуча здатність балок збільшилася від 44,5 % до 81,4 %, а деформаційна здатність – від 77,6 % до 288 %.

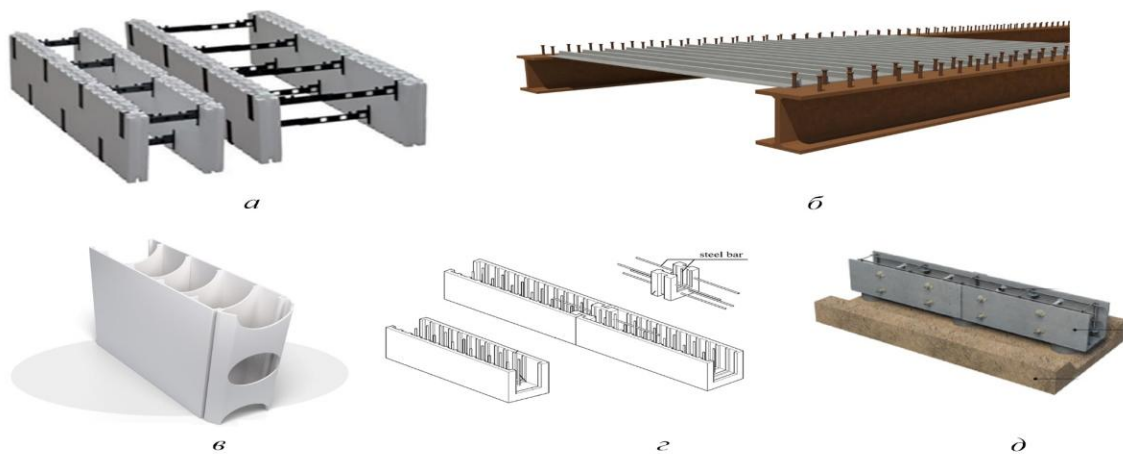


Рис. 2. Різновиди незнімної опалубки: а – пінополістирольна, б – металева, в – полівінілхлоридна, г – з композитного бетону, д – цементно-стружечна

Незнімну опалубку із цементних композитів надвисокої міцності також досліджували автори з Китаю [19]. Описані ними блоки опалубки здатні створювати додатковий захист від можливих тріщин, і можуть забезпечити захист для конструкції в умовах агресивного середовища. Також у наведеній статті було зазначено, що фабричне виробництво такої опалубки суттєво зменшує вартість її застосування. Дослідниками було розроблено опалубку прямокутної форми з ребрами жорсткості, а також три конектори, у формі + для з'єднання 4 прямокутних блоків між собою по центру, у формі Т для з'єднання двох панелей по ребрах, і у формі L – для формування кута. Опір на стискання склав 40,2 МПа. Після цього були проведені випробування, в яких було визначено граничні навантаження на конструкції:

171,6 кН для утворення тріщин, 290,9 кН для переходу у стан текучості та 323,9 кН як граничне навантаження. Автори статті декларують необхідність продовжити дослідження для визначення оптимальної форми конструкції.

У статті [23] розглядається використання текстильно-армованого бетону в якості незнімної опалубки, та досліджуються його міцнісні характеристики. Китайськими дослідниками з'ясовано найбільш популярні сценарії руйнування – це руйнування кута, руйнування отвору для встановлення з'єднувального болта та руйнування тріщин на з'єднаннях. Також було порівняно з цільними бетонними колонами, і з'ясовано, що колони з незнімної опалубки більш стійкі до руйнування, і мають більш

прогнозований та контрольований розвиток тріщин.

У статті Крістофера Леунга з університету Гонконга було розглянуто можливість виготовлення псевдо-пластичної незнімної опалубки [14]. Виготовляється вона з бетону з додаванням 2 % полівінілалкоголю. Також 80 % цементу було замінено літаючою золою, яка не приймає участі в процесі гідратації і виступає в ролі наповнювача. При цьому досліді показали збільшення міцності і можливості деформації на 40 %. За допомогою цієї технології були розроблені балки, перерізом 100×150 мм, де 30 мм – армована опалубка (тільки знизу), а решта – стандартна бетонна балка, і довжиною 1 600 мм. Такі балки змогли витримати навантаження до 40 кН, після чого на них з'явилися тріщини. В результаті дослідження, з'ясувалося, що в неармованій опалубці великі тріщини, які виникають при стандартному заливанні бетону, замінюються на багато тонких тріщин, які перешкоджають проникненню води до арматури, завдяки чому знижується ризик її корозії. Якщо додати армування, то руйнування відбувається у вигляді відшарування основного шару бетону від опалубки, що можна усунути, додавши поперечні пази вздовж балки. Недоліком даної конструкції є висока вартість матеріалів, та необхідність встановлення поперечних дерев'яних щитів опалубки.

У роботі індійських авторів [20] розглядається можливість використання пластику, як матеріалу для незнімної опалубки (рис 2, в). В якості переваг наводяться наступні показники – дешевизна матеріалу, його невелика маса в порівнянні з металом або бетоном, низька вартість обслуговування. При цьому, в залежності від матеріалу, така опалубка може бути як незнімною, так і знімною, і може бути використана повторно.

Учені з Австралії у своїй роботі [17] наводять дослідження використання незнімної опалубки із різних композитних матеріалів, таких як полівінілхлорид та фіброармований пластик. За рахунок

другого вдалося досягти суттєвої економії як у роботі, так і у матеріалі. Були проведені експериментальні випробування конструкції з прикладенням навантаження 10 000 кН. Після цього було розглянуто розрахунок конструкції у ABAQUS і проведено кореляцію розрахункової моделі з реальними результатами експерименту. Як зазначається, завдяки використанню незнімної опалубки вдалося також спростити схему армування у деяких конструкціях.

Нвзад Абдулджабар у своїй статті розглянув можливість використання ПВХ труб в якості незнімної опалубки, і дослідив переваги таких конструкцій з аспекту додаткового захисту залізобетонних конструкцій від зовнішніх факторів [18]. Використання ПВХ труб в якості опалубки допомагає зменшити втрату вологості для гідратації свіжого бетону, зменшити витрати у процесі твердіння бетону, створити додатковий захист від температурних перепадів, також зменшити можливі пластичні деформації та додатково захистити пори бетону. У статті було розглянуто можливість використання різних полімерів з армоволокном, а також застосування труб в межах від 32 до 200 мм. Як зазначається авторами статті, головний недолік такого способу опалублювання – це висока вартість полімерів та робочої сили.

Р. Федюк у своїй роботі [15] дослідив застосування незнімної опалубки для несучих стін із пінополістиролу (рис 2, а). Було з'ясовано, що при використанні щільних з'єднань можна мінімізувати мости холоду. Низька вага конструкції зменшує витрати на транспортування та встановлення. Також такі блоки не поглинають вологу, тому можуть виступати додатково і гідроізоляцією.

В статті Рона Аріяна зазначається, що в Туреччині вже проводилися дослідження незнімної опалубки з пінополістиролу у цивільному будівництві, враховуючи її переваги в енергоефективності за рахунок того, що конструкція із полістиролу залишається в якості утеплювача [21]. Були

спроби ввести цю технологію у масове використання на рівні з цегляною кладкою.

Більш детально незнімна опалубка із пінополістиролу була досліджена одним із провідних вчених України в галузі будівництва – О. Менеїлюком, а також С. Кирилюком та Л. Черепашук, де проводилося порівняння стін із різних матеріалів, таких як різні типи керамічної цегляної кладки, бетонних блоків, SIP-панелі та мультишарові панелі із незнімної опалубки за різними показниками: вартістю, товщиною стіни, масою  $1\text{m}^2$  стіни, опором теплопровідності, довговічністю, та іншими [12]. Як зазначають автори – незнімна опалубка виявилась одним із кращих рішень для будівництва бюджетних невеликих котеджних будинків з урахуванням вищезгаданих критеріїв. Товщина стіни складала від 290 до 340 мм, проєктна довговічність – до 100 років, будівництво можливе в будь-яку пору року, має захист від вологи та порівняно низьку вартість доставки матеріалів. Авторами статті було додатково розроблено та запатентовано три типи опалубки для будівництва стін житлових будинків.

У монографії [7] О. Лапенко детально описує дослідження бетонування в незнімній опалубці зі сталевих елементів, наприклад, труб або двотаврів, де ці елементи виконують як роль опалубки, так і армування. Як зазначається в праці, такі елементи досить легкі в монтажі та промислового виготовлення, а також мають вищу несучу здатність. Серед недоліків – зменшення вогнестійкості та необхідність регулярного захисту зовнішнього шару труби від корозії. За даними Українського центру сталевих будівництва (УЦСБ) лише за 2022 рік ціни на металопрокат зросли на 26 % [9]. А за оцінками Метінвест СМЦ обсяг споживання металопрокату в Україні за той же 2022 рік знизився на 55 % [8]. Тож, враховуючи дані факти, такий тип опалубки вже не можна розглядати, як економічний.

Швейцарські вчені провели дослідження з використання 3D принтерів для друку опалубки у формі будинку з подальшим

бетонуванням класичним методом [13]. Було порівняно різні матеріали для опалубки: бетон, глину, полімери, і різні методи друку опалубки. Також зазначається, що при використанні класичних видів опалубки, витрати на її монтаж та демонтаж становлять близько 80 % від загальної вартості бетонування, через що досить часто відбувається недоцільне використання матеріалів, оскільки економія на встановленні опалубки за стандартизованими розмірами виходить більшою, ніж на бетоні.

У статті британських вчених досліджується застосування тканинної опалубки в бетонному будівництві, підкреслюючи її ефективність у структурній оптимізації та зменшенні матеріальних витрат [24]. Завдяки можливості формування складних непрямокутних елементів, вона забезпечує еквівалентну несучу здатність при скороченні використання матеріалу до 40 %, що знижує енерговитрати та екологічний вплив. Розглянуто історичний розвиток технології від геотехнічних застосувань до сучасної архітектури. Представлено методики проєктування та оптимізації форми тканинно-формованих бетонних балок, підкріплені результатами експериментів в Університеті Бата. Досліджено перспективи використання композитних тканин як незнімної опалубки та створення рівномірних попередньо напружених балок. Аналіз покращених поверхневих властивостей бетону, таких як знижена пористість і підвищена довговічність, підтверджує його переваги для міцності конструкцій та технічного обслуговування. Отримані результати демонструють потенціал тканинної опалубки у сталому будівництві через ефективне використання матеріалів та інноваційний дизайн.

Стаття Уїла Хокінза містить всебічний огляд технологій гнучкої опалубки, аналізуючи їхній історичний розвиток, сучасний стан та перспективи застосування в бетонному будівництві [25]. Традиційні жорсткі опалубки обмежують конструкції стандартними призматиками, що спричиняє

нераціональне використання матеріалів та високі викиди вуглецю. Натомість гнучка опалубка враховує пластичність бетону, дозволяючи створювати оптимізовані геометрії, які мінімізують матеріальні витрати та екологічний вплив. У статті розглянуто різні застосування гнучкої опалубки – для балок, колон, стін, оболонок і фундаментів, а також їхні конструктивні та архітектурні переваги. Окрему увагу приділено новітнім підходам до пошуку форми, структурного аналізу та армування, зокрема використанню високоміцних тканин, адаптивних форм та цифрового моделювання. Результати дослідження підкреслюють потенціал гнучкої опалубки у сталому будівництві завдяки зменшенню витрат цементу, підвищенню довговічності та вдосконаленню структурної ефективності.

У своєму дослідженні Меттіас Лешок пропонує новий підхід до сталого формоутворення для складних бетонних геометрій, використовуючи 3D-друк методом наплавлення (FDM) та водорозчинний полівініловий спирт (PVA) [26]. Традиційні опалубні методи обмежують форму та матеріали, спричиняючи значні відходи та складнощі при демонтажі. Завдяки біорозкладності та розчинності PVA запропонований підхід усуває потребу в руйнівному демонтажі, зберігаючи точність деталей і складних піднутрень у бетонних елементах. Структурну валідацію проведено на великомасштабних прототипах, які підтвердили можливість інтеграції стандартних будівельних елементів із мінімальними 3D-друкованими оболонками. Отримані результати демонструють потенціал зниження матеріальних витрат та екологічного впливу у виробництві архітектурного бетону при збереженні високої гнучкості дизайну. Це дослідження сприяє розвитку цифрових технологій у будівництві, забезпечуючи точні, ефективні та маловідходні рішення для бетонної опалубки.

У статті Пітера Гобкінсона досліджується потенціал відновлення та

повторного використання конструкційних будівельних матеріалів, таких як бетон, сталь, цегла та кам'яна кладка, у контексті циркулярної економіки [27]. Традиційні методи демонтажу та переробки спричиняють значні втрати матеріалів і їхнє знецінення, обмежуючи екологічні та економічні вигоди. На основі ґрунтовного аналізу літератури визначено ключові технічні та економічні бар'єри, що ускладнюють масштабне впровадження повторного використання конструкційних матеріалів. Окреслено новітні методи відновлення, зокрема лазерне різання зварних зсувних шпильок для сталі, удосконалені методи розділення цегли та бетону, а також 3D-друк для відновлення бетонних конструкцій. Представлено проєкт EPSRC Rebuild як ключову ініціативу з вивчення інноваційних процесів деконструкції та ремануфактуризації для високоякісного повторного використання.

Попередні результати свідчать, що інтеграція цих методів у нові циркулярні будівельні системи може суттєво зменшити відходи, вуглецевий слід і споживання первинних ресурсів. Дослідження підкреслює необхідність системних змін у будівельному проєктуванні, нормативно-правовій базі та галузевих практиках для підтримки масштабного впровадження стратегій повторного використання матеріалів.

Використовуючи дані Держстату України, можна оцінити, які матеріали на території України видобуваються в найбільшій кількості [2]. Так, на 2021 рік на вапнякові породи припадає 7,1 млн т, на піски будівельні – 15,4 млн т, крихту, гранули та порошок з природнього каменю – 16 млн т (за даними на 2020 р.). Також, за 2020 рік було утворено 404,6 млн т різних мінеральних відходів на виробництві, серед яких, в тому числі, відвальний шлак. Використання таких локальних матеріалів може стати суттєвою перевагою у формуванні кінцевої вартості незнімної опалубки.

## Висновки

У будівельній галузі питання використання незнімної опалубки є актуальним, оскільки багатьма вченими та будівельними компаніями активно ведеться розробка нових і більш ефективних способів і технологій її використання. Після аналізу публікацій українських та зарубіжних дослідників за останні декілька років, можна констатувати, що ефективність використання незнімної опалубки в якості альтернативи до розбірної, особливо в аспекті швидкості і дешевизни зведення будівель і споруд є беззаперечною.

Авторами досліджено використання незнімної опалубки із різних матеріалів – металевих листів, листів із дерев'яної стружки, склеєної полімерами, або ж цементом, бетону з використанням армування скловолокном, пластику, а також полістиролу. Також розглянуто різні технології виконання незнімної опалубки: у вигляді збірних блоків, монолітним способом та друковану на 3D-принтері.

В переважній більшості публікацій незнімна опалубка розглядається для невеликого економічного житлового будівництва. Одна із основних цілей дослідження зараз – збільшення енергоефективності будівель та споруд за рахунок використання теплоізоляційних матеріалів у конструкції опалубки. Інші

вчені та будівельні компанії поставили за мету розробити незнімну опалубку для збільшення несучої здатності за рахунок використання композитних матеріалів, а також для покращення захисту бетонних конструкцій від корозії. Додатково розглянуто поліпшення умов експлуатації конструкцій в агресивному середовищі, наприклад, з підвищеною вологістю, де необхідно забезпечити додаткову ізоляцію конструкції, для запобігання контакту води і арматури.

Також було розглянуто способи оптимізації витрат за рахунок зменшення маси блоків незнімної опалубки, завдяки чому було зменшено витрати на транспортування.

Питання зниження собівартості незнімної опалубки та можливості залучення до її монтажу професійних фахівців нижчої кваліфікації (наприклад, II–III розряду замість IV) для виконання монтажних робіт залишається сьогодні розкритим неповністю.

Метою подальших досліджень є розробка незнімної опалубки з локальних будівельних матеріалів з урахуванням мінімізації маси блоку для зниження вартості логістики, а також оптимізація форми і технології монтажу незнімної опалубки.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Битько М. М., Бойко В. В. Застосування незнімної опалубки – мода чи раціональний підхід? *Наукові дослідження : перспективи інноваційного розвитку суспільства і технологій*. Київ, 2017. С. 153–156.
2. Вернер І. Є., Вишневецька О. А. Державна служба статистики України. *Статистичний щорічний України*. Київ, 2022. № 172. С. 242–243.
3. Даценко В., Дмитренко О., Курило В., Набок В. Житлова Політика після війни та стихійного лиха : досвід восьми країн. *Інститут аналітики та адвокації*. 2023.
4. Кабінет міністрів України. Постанова від 25 квітня 2023 р. № 382 «Про реалізацію експериментального проекту щодо відновлення населених пунктів, які постраждали внаслідок збройної агресії Російської Федерації». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/382-2023-п#Text>
5. Коваль М. П. Випробування плити проїзної частини із зовнішнім армуванням автодорожнього залізобетонного моста. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. 2010. № 662. С. 245–253.
6. Коваль М. П., Фаль А. Є., Стоянович С. В. Незнімні опалубки для залізобетонних плит проїзної частини мостів. *Автошляховик України*. 2012.
7. Лапенко О. І. Залізобетонні конструкції з робочим армуванням незнімною опалубкою. Полтава, 2009.
8. Обсяг металоспоживання в Україні знизився на 55 % : огляд ринку за підсумками 2022 року. URL: <https://dia.dp.gov.ua/obsyag-metalospozhivannya-v-ukraini-znizivsya-na-55-oglyad-rinku-za-pidsumkami-2022-roku/>
9. УЦСБ – Ціни на металопрокат в Україні за підсумками 2022-го зросли на 26 %. URL: <https://gmk.center/ua/news/cini-na-metaloprokat-v-ukraini-za-pidsumkami-2022-go-zrosli-na-26-ucsb/>

10. Kyiv School of Economics. Загальна сума прямих збитків, завдана інфраструктурі України через війну, за підсумками червня 2023 року перевищила \$150 млрд. URL: <https://kse.ua/ua/about-the-school/news/zagalna-suma-pryamih-zbitkiv-zavdana-infrastrukturi-ukrayini-cherez-viynu-za-pidsumkami-cherhvnya-2023-roku-perevishhila-150-mlrd/>
11. Ahmad Z., Ahmad N., Ali Rahman A., Abdul Hamid H., Md Noh M.S. Fire Resistance Performance of Reinforced Concrete Column with Embedded Permanent Formwork Using Woodwool Panel. *Applied Mechanics and Materials*. 2014. Vol. 661. Pp. 111–117.
12. Meneiliuk Alexandr, Kyryliuk Stanislav and Cherepashchuk Larisa. Development of cost-effective enclosing structures with high heat transfer resistance. *E3S Web Conf*. 2021. Vol. 258.
13. Jipa Andrei and Dillenburger Benjamin 3D Printed Formwork for Concrete: State-of-the-Art, Opportunities, Challenges and Applications. *3D Printing and Additive Manufacturing*. 2022. № 9. Pp. 84–107.
14. Christopher K., Leung Y., Qian Cao. Development of pseudo-ductile permanent formwork for durable concrete structures. *Materials and Structures*. 2010. Vol. 43. Pp. 993–1007.
15. Fedjuk R. Axle solid concrete wall using permanent formwork of polystyrene foam. *Engineering Researches*. 2013. Pp. 105–114.
16. IMF, World Economic Outlook, April 2024. URL: <https://www.imf.org/en/Publications/WEO/Issues/2024/04/16/world-economic-outlook-april-2024>.
17. Kildashti Kamyar, Bijan Samali, Adnan Malik, M. Makki Alamdari. Computational simulation of eccentrically loaded reinforced concrete walls formed with modular thin-walled permanent formwork system. *Journal of Building Engineering*. 2021. Vol. 36. P. 102131. ISSN 2352-7102.
18. Nwzad Abduljabar Abdulla. Concrete filled PVC tube : a review. *Construction and Building Materials*. 2017. Vol. 156. Pp. 321–329. ISSN 0950-0618.
19. Qing-Hua Li, Bo-Tao Huang, Shi-Lang Xu. Development of assembled permanent formwork using ultra high toughness cementitious composites. *Advances in Structural Engineering*. 2016. № 19 (7). Pp. 1142–1152.
20. Raju Prajapati Jayeshkumar Pitroda, Bhavsar J. J. Plastic formwork : New era for construction sector. *National Conference on: "Trends and Challenges of Civil Engineering in Today's Transforming World"*. 2014.
21. Ron Aryan Analyzing durability properties of insulated concrete in energy reduction for residential buildings. *Journal of Organizational Behavior Research*. 2018.
22. Rui Zhang, Peng Hu, Xiaohang Zheng, Lianheng Cai, Rui Guo, Dingbang Wei. Shear behavior of RC slender beams without stirrups by using precast U-shaped ECC permanent formwork. *Construction and Building Materials*. 2020. Vol. 260.
23. Shichang Li, Shiping Yin. Research on the mechanical properties of assembled TRC permanent formwork composite columns. *Engineering Structures*. 2021. Vol. 247. Pp. 113105. ISSN 0141-0296.
24. Orr J. J., Darby A. P., Ibell T. J., Evernden M. C., Otlet M. Concrete structures using fabric formwork. *The Structural Engineer*. 2011. Vol. 89, № 8. Pp. 20–26.
25. Will J. Hawkins, Michael Herrmann, Tim J. Ibell, Benjamin Kromoser, Alexander Michaelski, John J. Orr, Remo Pedreschi, Arno Pronk, H. Roel Schipper, Paul Shepherd, Diederik Veenendaal, René Wansdronek, Mark West. Flexible formwork technologies – a state of the art review. *Structural concrete*. 2016. Vol. 17, iss. 6. Pp. 911–935.
26. Leschok Matthias and Dillenburger Benjamin Dissolvable 3DP Formwork. *Acadia 19: Ubiquity and Autonomy. Proceedings of the 39th Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture (ACADIA)*. ISBN 978-0-578-59179-7. The University of Texas at Austin School of Architecture, Austin, Texas, 21–26 October, 2019. Pp. 188–197.
27. Hopkinson P., Chen H. M., Zhou K., Wang Y., Lam D. Recovery and reuse of structural products from end-of-life buildings. Proceedings of the Institution of Civil Engineers. *Engineering Sustainability*. 2019. № 172 (3). Pp. 119–128.

## REFERENCES

1. Bytko M.M. and Boiko V.V. *Zastosuvannia nezninomoi opalubky – moda chy ratsionalnyi pidkhid?* [The use of fixed formwork – fashion or rational approach?]. *Naukovi doslidzhennia : Perspektyvy innovatsiinoho rozvytku suspilstva i tekhnologii* [Scientific Research : Prospects for Innovative Development of Society and Technologies]. Kyiv, 2017, pp. 153–156. (in Ukrainian).
2. Verner I.Ye. and Vyshnevskaya O.A. *Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy* [State Statistics Service of Ukraine]. *Statystichni shchorichniy Ukrainy 2021* [Statistical Yearbook of Ukraine 2021]. Kyiv, 2022, no. 172, pp. 242–243. (in Ukrainian).
3. Datsenko V., Dmytrenko O., Kurylo V. and Nabok V. *Zhytlova Polityka pislia viyny ta stykhiinoho lykha : dosvid vosmy krain* [Housing Policy after War and Natural Disaster : Experience of Eight Countries]. *Instytut analityky ta advokatsii* [Institute for Analytics and Advocacy]. 2023. (in Ukrainian).
4. *Kabinet ministriv Ukrainy Postanova vid 25 kvitnia 2023 r. № 382 "Pro realizatsiiu eksperymentalnoho proiektu shchodo vidnovlennia naselenykh punktiv, yaki postrazhdaly vnaslidok zbroinoi ahresii Rosiiskoi Federatsii"* [Cabinet of Ministers of Ukraine. Resolution of April 25, 2023 No. 382 "On the Implementation of a Pilot Project on the Restoration of Settlements Affected by the Armed Aggression of the Russian Federation"]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/382-2023-p#Text> (in Ukrainian).

5. Koval M.P. *Vyprobuvannia plyty proiznoi chastyny iz zovnishnim armuvanniam avtodorozhnoho zalizobetonnoho mosta* [Testing of the roadway slab with external reinforcement of a reinforced concrete road bridge]. *Visnyk Natsional'nogo universitetu "Lvivska politekhnikha"* [Bulletin of the National University of Lviv Polytechnic]. 2010, no. 662, pp. 245–253. (in Ukrainian).
6. Koval M.P., Fal A.Ye. and Stoianovych S.V. *Nezniomni opalubky dlia zalizobetonnykh plyt proiznoi chastyny mostiv* [Fixed formwork for reinforced concrete slabs of the roadway of bridges]. *Avtoshliakhovyk Ukrainy* [Ukrainian Highwayman]. 2012. (in Ukrainian).
7. Lapenko O.I. *Zalizobetonni konstruksii z robochym armuvanniam nezniomnoiu opalubkoiu* [Reinforced concrete structures with working reinforcement with fixed formwork]. Poltava, 2009. (in Ukrainian).
8. *Obsiah metalospozhyvannia v Ukraini znyzyvsia na 55 %: ohliad rynku za pidsumkami 2022 roku* [The volume of metal consumption in Ukraine decreased by 55 %: market review by the end of 2022]. URL: <https://dia.dp.gov.ua/obsyag-metalospozhyvannia-v-ukraini-znizivsya-na-55-oglyad-rynku-za-pidsumkami-2022-roku/> (in Ukrainian).
9. *UTsSB – Tsiny na metaloprokat v Ukraini za pidsumkami 2022-ho zrosly na 26 %* [UCSB – Prices for rolled metal in Ukraine increased by 26 % in 2022]. URL: <https://gmk.center/ua/news/cini-na-metaloprokat-v-ukraini-za-pidsumkami-2022-go-zrosli-na-26-ucsb/> (in Ukrainian).
10. *Kyiv School of Economics Zahalna suma priamykh zbytkiv, zavdana infrastrukturi Ukrainy cherez viinu, za pidsumkami chervnia 2023 roku perevyschyla \$150 mlrd* [Kyiv School of Economics The total amount of direct damage caused to Ukraine's infrastructure due to the war exceeded \$150 billion as of June 2023]. URL: <https://kse.ua/ua/about-the-school/news/zagalna-suma-priamyh-zbitkiv-zavdana-infrastrukturi-ukrayini-cherez-viynu-za-pidsumkami-chervnya-2023-roku-perevishhila-150-mlrd/> (in Ukrainian).
11. Ahmad Z., Ahmad N., Ali Rahman A., Abdul Hamid H. and Md Noh M.S. Fire Resistance Performance of Reinforced Concrete Column with Embedded Permanent Formwork Using Woodwool Panel. *Applied Mechanics and Materials*. 2014, vol. 661, pp. 111–117.
12. Meneiliuk Alexandr, Kyryliuk Stanislav and Cherepashchuk Larisa. Development of cost-effective enclosing structures with high heat transfer resistance. *E3S Web Conf.* 2021, vol. 258.
13. Jipa Andrei and Dillenburger Benjamin. 3D Printed Formwork for Concrete : State-of-the-Art, Opportunities, Challenges and Applications. *3D Printing and Additive Manufacturing*. 2022, no. 9, pp. 84–107.
14. Christopher K., Leung Y. and Qian Cao. Development of pseudo-ductile permanent formwork for durable concrete structures. *Materials and Structures*. 2010, vol. 43, pp. 993–1007.
15. Fedjuk R. Axle solid concrete wall using permanent formwork of polystyrene foam. *Engineering Researches*. 2013, pp. 105–114.
16. IMF, *World Economic Outlook*. April 2024. URL: <https://www.imf.org/en/Publications/WEO/Issues/2024/04/16/world-economic-outlook-april-2024>.
17. Kildashti Kamyar, Bijan Samali, Adnan Malik and M. Makki Alamdari. Computational simulation of eccentrically loaded reinforced concrete walls formed with modular thin-walled permanent formwork system. *Journal of Building Engineering*. 2021, vol. 36, p. 102131, ISSN 2352-7102.
18. Nwzad Abduljabar Abdulla. Concrete filled PVC tube : a review. *Construction and Building Materials*. 2017, vol. 156, pp. 321–329, ISSN 0950-0618.
19. Qing-Hua Li, Bo-Tao Huang and Shi-Lang Xu. Development of assembled permanent formwork using ultra high toughness cementitious composites. *Advances in Structural Engineering*. 2016, no. 19 (7), pp. 1142–1152.
20. Raju Prajapati Jayeshkumar Pitroda and Bhavsar J.J. Plastic formwork : New era for construction sector. National Conference on : “Trends and Challenges of Civil Engineering in Today’s Transforming World”. 2014.
21. Ron Aryan Analyzing durability properties of insulated concrete in energy reduction for residential buildings. *Journal of Organizational Behavior Research*. 2018.
22. Rui Zhang, Peng Hu, Xiaohang Zheng, Lianheng Cai, Rui Guo and Dingbang Wei. Shear behavior of RC slender beams without stirrups by using precast U-shaped ECC permanent formwork. *Construction and Building Materials*. 2020, vol. 260.
23. Shichang Li and Shiping Yin. Research on the mechanical properties of assembled TRC permanent formwork composite columns. *Engineering Structures*. 2021, vol. 247, p. 113105, ISSN 0141-0296.
24. Orr J.J., Darby A.P., Ibell T.J., Evernden M.C. and Otlet M. Concrete structures using fabric formwork. *The Structural Engineer*. 2011, vol. 89, no. 8, pp. 20–26.
25. Will J. Hawkins, Michael Herrmann, Tim J. Ibell, Benjamin Kromoser, Alexander Michaelski, John J. Orr, Remo Pedreschi, Arno Pronk, H. Roel Schipper, Paul Shepherd, Diederik Veenendaal, René Wansdronk and Mark West. Flexible formwork technologies – a state of the art review. *Structural Concrete*. 2016, vol. 17, iss. 6, pp. 911–935.
26. Leschok Matthias and Dillenburger Benjamin. Dissolvable 3DP Formwork. *Acadia 19 : ubiquity and autonomy*. Proceedings of the 39th Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture (ACADIA). ISBN 978-0-578-59179-7. The University of Texas at Austin School of Architecture, Austin, Texas, 21–26 October, 2019, pp. 188–197.
27. Hopkinson P., Chen H.M., Zhou K., Wang Y. and Lam D. Recovery and reuse of structural products from end-of-life buildings. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Engineering Sustainability*. 2019, no. 172 (3), pp. 119–128.

Надійшла до редакції: 12.04.2025.



УДК 35.073.2:69.003

DOI: 10.30838/UJCEA.2312.270425.60.1161

## РОЛЬ ДЕРЖАВНОЇ ПОЛІТИКИ У СТИМУЛЮВАННІ РОЗВИТКУ БУДІВЕЛЬНОЇ ГАЛУЗІ В УКРАЇНІ ПІД ЧАС ВІЙНИ

ДІКАРЕВ К. Б.<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доц.,  
ПАПІРНИК Р. Б.<sup>2</sup>, канд. техн. наук, доц.,  
КОВАЛЬ В. М.<sup>3\*</sup>, асп.,  
КОВАЛЬ В. В.<sup>4</sup>, маг.,  
ТКАЧ Т. В.<sup>5</sup>, канд. техн. наук, доц.

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

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

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

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

<sup>5</sup> 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](mailto:tkach.taisiia@pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0002-9433-7514

**Анотація. Постановка проблеми.** Державна політика відіграє вирішальну роль у стимулюванні розвитку будівельної галузі України в умовах війни. У цей критичний період необхідно вжити ряд заходів, спрямованих на відновлення інфраструктури, забезпечення житлом внутрішньо переміщених осіб і підтримку економічної стабільності. Актуальність теми зумовлена не лише потребами відновлення, але й необхідністю адаптації до нових умов ведення бізнесу та залучення інвестицій. Основними напрямками державної політики є підтримка інвестицій, установлення сприятливих умов для інвесторів через зниження податкового навантаження та спрощення процедур отримання дозволів на будівництво, фінансування будівельних проектів, включення видатків на відновлення інфраструктури до державного бюджету, а також залучення міжнародних фінансових установ для фінансування житлових і соціальних проектів. Крім того, важливо забезпечити соціальний захист населення через програми підтримки, які включають субсидії на житло та пільгові кредити для будівництва. Впровадження нових екологічних норм у будівництві, які забезпечують енергоефективність і безпеку, також є необхідним у контексті сучасних екологічних викликів. **Мета статті** є аналіз ролі державної політики в стимулюванні розвитку будівельної галузі України під час війни та виявлення ефективних заходів для відновлення інфраструктури і забезпечення соціальних потреб населення. **Висновок.** Державна політика є ключовим чинником, що визначає розвиток будівельної галузі в Україні під час війни. Здійснення комплексних заходів, спрямованих на відновлення інфраструктури, підтримку інвестицій та соціальний захист населення, стане основою для стабілізації економіки і задоволення потреб внутрішньо переміщених осіб. Адаптація до нових умов ведення бізнесу та впровадження екологічних норм забезпечать стійкість будівельного сектору в майбутньому.

**Ключові слова:** державна політика; будівельна галузь; війна в Україні; інвестиції; відновлення інфраструктури; соціальний захист; екологічні норми; співпраця; енергоефективність; державний бюджет

## THE ROLE OF STATE POLICY IN STIMULATING THE DEVELOPMENT OF THE CONSTRUCTION INDUSTRY IN UKRAINE DURING WAR

DIKAREV K.B.<sup>1</sup>, PhD. (Tech.), Assoc. Prof.,  
PAPIRNYK R.B.<sup>2</sup>, PhD. (Tech.), Assoc. Prof.,  
KOVAL V.M.<sup>3\*</sup>, Postgrad. Stud.,  
KOVAL V.V.<sup>4</sup>, Master's degree holder,

TKACH T.V.<sup>5</sup>, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*

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

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

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

<sup>4</sup> Department of Public Administration, Dnipro State Agrarian and Economic University, 25, Serhiy Yefremov St., Dnipro, 49009, Ukraine, tel. +38 (056) 371-08-21, email: [valery.valeriyovich.koval.27@gmail.com](mailto:valery.valeriyovich.koval.27@gmail.com), ORCID ID: 0009-0000-5875-1497

<sup>5</sup> 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](mailto:tkach.taisiia@pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0002-9433-7514

**Abstract. Problem statement.** State policy plays a crucial role in stimulating the development of the construction industry in Ukraine under wartime conditions. During this critical period, a series of measures aimed at restoring infrastructure, providing housing for internally displaced persons, and supporting economic stability must be taken. The relevance of the topic is determined not only by the needs for recovery but also by the necessity to adapt to new business conditions and attract investments. The main directions of state policy include investment support, creating favorable conditions for investors through reducing the tax burden and simplifying construction permit procedures, financing construction projects, incorporating infrastructure restoration expenditures into the state budget, and attracting international financial institutions for financing housing and social projects. Additionally, it is essential to ensure social protection for the population through support programs, including housing subsidies and preferential loans for construction. The introduction of new ecological norms in construction, which ensure energy efficiency and safety, is also necessary in the context of contemporary ecological challenges. **The purpose** of the article is to analyze the role of state policy in stimulating the development of the construction industry in Ukraine during the war and to identify effective measures for restoring infrastructure and meeting the social needs of the population. **Conclusion.** State policy is a key factor determining the development of the construction industry in Ukraine during the war. The implementation of comprehensive measures aimed at restoring infrastructure, supporting investment, and providing social protection for the population will form the basis for stabilizing the economy and meeting the needs of internally displaced persons. Adaptation to new business conditions and the introduction of ecological norms will ensure the resilience of the construction sector in the future.

**Keywords:** state policy; construction industry; war in Ukraine; investments; infrastructure restoration; social protection; ecological norms; cooperation; energy efficiency; state budget

**Постановка проблеми.** Стаття «Роль державної політики у стимулюванні розвитку будівельної галузі в Україні під час війни» зосереджується на важливості державних заходів для підтримки будівництва в умовах війни. Основні проблеми, які вона піднімає, включають відновлення інфраструктури, оскільки війна завдала значної шкоди, і це потребує термінового відновлення для забезпечення функціонування економіки та соціальних послуг. Масштаби руйнувань охоплюють не лише житловий сектор, але й критично важливі об'єкти, такі як транспортні магістралі, мости, залізничні вузли, енергетична та водопостачальна інфраструктура. Відновлення цих об'єктів є пріоритетним завданням, адже воно безпосередньо впливає на здатність регіонів підтримувати економічну

діяльність і забезпечувати базові потреби громадян.

Додатково, важливо врахувати потреби внутрішньо переміщених осіб, зростаюча кількість яких вимагає швидкого забезпечення житлом. Війна змусила мільйони людей залишити свої домівки, що спричинило значний тиск на житловий ринок у відносно безпечних регіонах. Це викликає необхідність розробки програм будівництва тимчасового та постійного житла, а також запровадження механізмів фінансової підтримки для переселенців, таких як державні компенсації, доступні іпотечні програми або субсидії на оренду житла. Держава також має сприяти розширенню житлової інфраструктури у регіонах, які приймають найбільше внутрішньо переміщених осіб, шляхом підтримки

муніципальних програм розвитку та залучення приватного капіталу.

Також стаття підкреслює необхідність залучення інвестицій, адже створення сприятливих умов для інвесторів є критично важливим для відновлення галузі. Війна створила додаткові ризики для бізнесу, що змушує інвесторів утримуватися від вкладень у довгострокові проекти. Для подолання цієї проблеми необхідно впроваджувати державні гарантії, страхування інвестицій та механізми державно-приватного партнерства. Особливо актуальним є залучення міжнародних донорів та фінансових інституцій, які можуть надати як безповоротну допомогу, так і вигідні кредити на будівельні проекти. Додатково слід спрощувати дозвільні процедури, зменшувати податковий тиск та забезпечувати прозорість у сфері розподілу бюджетних коштів.

Недостатнє фінансування будівельної галузі також є викликом, який ускладнює реалізацію навіть найважливіших проєктів. У цьому контексті доцільно розглянути можливість залучення державних та міжнародних фінансових ресурсів, розширення програм підтримки малого та середнього бізнесу у сфері будівництва та створення спеціальних фондів для фінансування відбудови країни. Важливою складовою є і соціальний захист населення, адже багато українців втратили свої домівки та джерела доходу, що вимагає від держави розробки ефективних соціальних програм, спрямованих на підтримку тих, хто постраждав від війни.

**Аналіз публікацій.** Дослідження даного питання охоплює широкий спектр аспектів, зокрема аналіз впливу державної політики на будівельну галузь в умовах кризи та пошуку ефективних механізмів її стимулювання. Значна увага приділяється проблемам фінансування відновлювальних проєктів, а також ролі міжнародних організацій у підтримці відбудови країни. Дослідники також розглядають питання спрощення дозвільних процедур, що сприятиме залученню інвестицій та прискоренню реалізації будівельних ініціатив. Окремим напрямом є

дослідження технологічних інновацій у будівництві, які можуть підвищити ефективність і стійкість відновлюваної інфраструктури. Крім того, актуальними залишаються питання енергоефективності та екологічної безпеки нових забудов, що має важливе значення для сталого розвитку галузі. Дослідження даного питання можна спостерігати у працях українських дослідників, таких як Н. Бондарьова, Д. Ісасенко, Г. Возняк, В. Воськало, В. Гейця, Т. Левку, значну увагу приділено проблемам державного регулювання.

**Викладення матеріалу.** Будівельна галузь відіграє ключову роль в економіці країни, адже вона забезпечує створення основних фондів, як для виробничих, так і для невиробничих потреб, необхідних для функціонування всіх секторів національної економіки. Ця галузь відповідає за задоволення побутових та соціально-культурних потреб населення, а також сприяє створенню численних нових робочих місць і реалізації продукції з інших галузей, що використовуються в процесі будівництва. Проте ефективність роботи будівельної галузі значною мірою залежить від державної політики, яка має бути націлена на підтримку та регулювання цієї сфери. Це включає інформаційне забезпечення, створення належної нормативно-правової бази та оптимізацію податкового навантаження.

В останніх реформаторських змінах акцент було зроблено на інтеграції, в результаті чого було створено Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства (Мінрегіон). Однак частина функцій у сфері цінового регулювання та тарифної політики була передана Національній комісії. Незважаючи на ці організаційні зміни, ситуація в управлінні міністерством залишається незадовільною [2, с. 11–15].

Причини цього явища є різноманітними, включаючи як зовнішні, так і внутрішні чинники. Проте, головні проблеми криються не лише в організаційній структурі самого міністерства, а й у направленості його зусиль.

Основні пріоритетні напрямки державної політики у стимулюванні розвитку будівельної галузі в Україні під час війни охоплюють низку ключових аспектів, які мають вирішальне значення для відновлення економіки та соціальної інфраструктури. По-перше, важливо зосередитися на відновленні і модернізації існуючої інфраструктури, оскільки багато об'єктів зазнали значних пошкоджень внаслідок військових дій. Держава повинна реалізувати програми, які передбачають фінансування проектів відновлення шляхом залучення внутрішніх і міжнародних інвестицій, а також через державний бюджет. По-друге, необхідно спростити адміністративні процедури отримання дозволів на будівництво, зменшити бюрократичні бар'єри та скоротити терміни обробки документів, що дозволить залучити більше інвесторів до реалізації будівельних проектів. Третім пріоритетом є підтримка соціального житла для внутрішньо переміщених осіб, що є актуальним в умовах війни. Держава повинна створити програми фінансування житлового будівництва, надаючи пільгові кредити та субсидії для забудовників, які займаються будівництвом соціального житла. Четвертим важливим напрямком є впровадження нових екологічних норм і стандартів, які забезпечують енергоефективність і безпеку будівель. У контексті зростаючих екологічних викликів державна політика повинна сприяти використанню екологічних матеріалів і технологій, які зменшують негативний вплив на навколишнє середовище. П'ятим пріоритетом є розвиток державно-приватного партнерства, що дозволяє залучати приватні інвестиції для реалізації великих будівельних проектів, що, в свою чергу, сприятиме зростанню економіки. Крім того, необхідно створити механізми захисту інвесторів, які передбачають страхування ризиків, що супроводжують будівельну діяльність, а також забезпечити правову захищеність для усіх учасників ринку. Усі ці напрямки мають на меті не лише відновлення та розвиток будівельної галузі, а й загальне покращення соціально-

економічної ситуації в країні під час війни, що є критично важливим для майбутнього України [3, с. 138–142].

В даний час функції управління в Мінрегіоні залишаються розрізненими. Регіональний розвиток в Україні в значній мірі забезпечується завдяки інвестиціям у створення та утримання об'єктів, які формують економічні активи на територіальному рівні, а також через розвиток соціальної та комунальної інфраструктури в містах. Це є важливим завданням для всіх державних інститутів.

Перші два підходи переважно відповідають умовам планової економіки, тоді як третій підхід, який включає всіх учасників різних форм власності, є більш актуальним для управління в умовах ринкової економіки.

На жаль, в Україні існує не лише відсутність системного регулювання, але й методологічна плутанина в управлінні: капітальні інвестиції контролюються Міністерством економічного розвитку, тоді як капітальне будівництво та експлуатація здійснюються в межах Мінрегіону. У зв'язку з цим, виникає необхідність об'єднання цих функцій в єдину структуру, що дозволить підвищити ефективність витрат на будівництві та в економіці загалом.

На сучасному етапі розвитку національної економіки будівельна галузь виконує важливу роль у розв'язанні ряду соціально-економічних проблем, таких як модернізація та створення нових основних засобів виробництва, реконструкція існуючих об'єктів, сприяння структурній перебудові економіки та забезпечення житлом населення. В Україні функціонування будівельної сфери стикається з безліччю викликів, які потребують науково обґрунтованих рішень, особливо в умовах війни.

Експерти відзначають, що будівництво є пріоритетною галуззю для економічного розвитку, проте в умовах кризової ситуації особливу увагу необхідно приділити дослідженню чинників, що впливають на цей сектор. На нашу думку, одним із ключових аспектів, що визначає ефективність розвитку будівельної галузі, є

якість державного регулювання, що безпосередньо пов'язана з механізмами контролю та підтримки [4, с. 217–218].

По-перше, незаконне будівництво без відповідних дозволів стало надзвичайно поширеним явищем. Це явище не лише загрожує архітектурному вигляду міст, але й створює серйозні ризики для безпеки. Багато з таких об'єктів не відповідають технічним нормам, що може призвести до аварій і нещасних випадків. Наявність незаконно збудованих об'єктів також ускладнює проведення інженерних мереж та організацію комунікацій, що, в свою чергу, впливає на якість життя населення. В умовах війни, коли ресурси та інфраструктура вже страждають від значних втрат, ігнорування законодавства у сфері будівництва загрожує ще більшими проблемами.

Окрім цього, проблема незаконного будівництва ускладнен відсутністю ефективного механізму відповідальності для порушників. Чинна система штрафів та адміністративних санкцій часто не є достатньо жорсткою, щоб запобігти порушенням. Крім того, у деяких випадках недобросовісні забудовники можуть отримати узаконення своїх об'єктів через корупційні механізми, що ще більше підриває довіру до регуляторних органів та державних інституцій. Важливо зазначити, що незаконне будівництво нерідко ведеться без врахування геологічних особливостей території, що може призводити до ерозії ґрунту, просідання будівель і навіть зсувів, які становлять серйозну загрозу для мешканців.

По-друге, порушення технічних норм є ще однією серйозною проблемою. Держава повинна забезпечити контроль за дотриманням цих норм, оскільки вони є основою безпеки та надійності будівель. Під час війни, коли час грає вирішальну роль, часто виникає спокуса спростити процедури, що призводить до зниження стандартів. Однак такий підхід може мати катастрофічні наслідки у майбутньому. Наприклад, використання неякісних будівельних матеріалів, відсутність належного геодезичного контролю або недотримання норм навантажень може

призвести до швидкого руйнування будівель, особливо у зонах, схильних до сейсмічної активності чи інших природних катастроф.

Особливо важливо дотримуватися стандартів при відбудові зруйнованих об'єктів. Неякісне будівництво може стати причиною швидкого зносу споруд або їх аварійного стану, що призведе до додаткових витрат на ремонт та реконструкцію у майбутньому. Крім того, низька якість будівництва загрожує життю та здоров'ю громадян, що особливо критично в умовах воєнного часу та післявоєнного відновлення країни. Враховуючи ці ризики, важливо підвищувати кваліфікацію працівників будівельної галузі та забезпечувати їх необхідним обладнанням і матеріалами, які відповідають європейським стандартам.

Третім важливим аспектом є недотримання екологічних стандартів безпеки. В умовах війни багато підприємств відмовляються від екологічних норм, щоб зекономити кошти або час. Це, у свою чергу, може призвести до забруднення довкілля, яке матиме тривалі наслідки для здоров'я населення. Екологічна безпека та здоров'я людей повинні залишатися пріоритетом навіть у кризові часи [1, с. 23–29].

Проблема корупції у будівельній сфері залишається однією з ключових перешкод для її розвитку. Нерідко забудовники змушені давати хабарі для отримання дозвільних документів або ж для уникнення перевірок та санкцій. Це створює нерівні умови для компаній, які прагнуть працювати чесно та дотримуватися законодавства. Корупція також сприяє процвітанню незаконного будівництва, що ще більше загострює ситуацію. Крім того, неефективність перевірок та інспекцій, які часто є формальністю, дозволяє порушникам уникати відповідальності, що ускладнює боротьбу з цим явищем.

Ще однією важливою проблемою є відсутність сучасного містобудівного планування та хаотична забудова, яка виникає через неефективне управління земельними ресурсами. У багатьох містах

України нові житлові комплекси будуються без належного планування транспортної та соціальної інфраструктури, що призводить до перевантаження доріг, нестачі місць у школах, дитячих садках та лікарнях. Така ситуація створює довгострокові проблеми для міського розвитку та погіршує якість життя населення.

Четвертою проблемою є недостатня захищеність інвесторів і потенційних власників об'єктів. Невизначеність щодо законодавства, а також ризики, пов'язані з військовими діями, створюють атмосферу, в якій інвестори не бажають вкладати кошти у будівництво. Це призводить до браку фінансування для важливих проектів, які могли б сприяти відновленню інфраструктури та покращенню житлових умов для населення.

Крім того, високий рівень бюрократизації процесу отримання дозвільної документації на будівельні роботи ускладнює й без того складні умови ведення бізнесу. Тривалі терміни отримання дозволів, складні процедури, а також часті зміни в законодавстві створюють перешкоди для розвитку будівельної галузі. Це особливо небезпечно в умовах війни, коли потрібно терміново відновлювати пошкоджену інфраструктуру та забезпечувати житлом внутрішньо переміщених осіб.

У нинішніх умовах війни для вирішення цих проблем необхідно посилити контроль з боку регулюючих органів. Це передбачає не лише збільшення кількості перевірок, але й покращення співпраці між державними установами, що забезпечує прозорість і справедливість у процесах регулювання. Підвищення ефективності державної політики у сфері будівництва також має бути пріоритетом. Це включає розробку чітких і зрозумілих правил, які стимулюють інвестиції та підтримують розвиток галузі, а також забезпечують захист прав споживачів [5, с. 15–17].

## Висновок

Ситуація в будівництві в Україні, зокрема в умовах війни, характеризується

спадом виробництва, зменшенням інвестиційної активності та нерозвиненістю ринкової інфраструктури. Значна частина будівельних компаній змушена скорочувати обсяги робіт або взагалі призупиняти свою діяльність через руйнування виробничих потужностей, нестачу матеріалів і трудових ресурсів. Додатково ускладнюють ситуацію фінансові ризики, пов'язані з нестабільністю валютного курсу, інфляційними процесами та обмеженим доступом до кредитних ресурсів. У цих умовах особливо важливим є створення ефективних механізмів підтримки будівельної галузі на державному рівні, що включає стимулювання інвестицій, вдосконалення нормативно-правової бази та розвиток державно-приватного партнерства. Це вимагає обґрунтованого підходу до вибору форм і методів державного регулювання, які можуть вирішити існуючі проблеми управління будівельними підприємствами, забезпечуючи їхню стабільну роботу та сприяючи поступовому відновленню галузі.

Ключовими завданнями для органів державного регулювання є удосконалення інституційно-правового середовища та підвищення ефективності механізмів управління будівельною діяльністю. Це дозволить покращити інвестиційно-підприємницький клімат у будівельному секторі. Серед пріоритетних напрямків варто виділити спрощення адміністративних процедур, що стосуються видачі дозвільної документації, з метою скорочення часу та витрат. Також необхідно посилити контроль за дотриманням будівельних і екологічних норм, розширити можливості для державно-приватного партнерства при будівництві соціально-економічних об'єктів, а також збільшити використання фінансово-кредитних механізмів і страхування для зменшення ризиків, пов'язаних із будівельною галуззю.

Таким чином, систематичний підхід до державного регулювання в умовах війни може значно стимулювати розвиток будівельної галузі в Україні, сприяючи не

лише відновленню інфраструктури, але й населення.  
забезпеченню соціальних потреб

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Заяць Т. Проблеми державного регулювання інноваційної діяльності в будівництві. *Економічний простір*. 2020. № 162. С. 23–29.
2. Ісаєнко Д. Законодавче регулювання діяльності в будівельній галузі. Особливості світового досвіду та європейського підходу до визначення пріоритетів при формуванні життєвого середовища. *Будівельне виробництво*. 2017. № 63 (2). С. 11–15.
3. Козич О. М. Державне регулювання будівельної діяльності галузі України. *Публічне управління : теорія та практика*. 2012. № 3 (11). С. 138–142.
4. Оласюк В. Державне регулювання економіки будівельної галузі. *Наукові тенденції постіндустріального суспільства : матер. конф. МЦНД*. 2020. С. 15–17.

### REFERENCES

1. Zayats T. *Problemy derzhavnoho rehulyuvannya innovatsiynoyi diyal'nosti v budivnytstvi* [Problems of state regulation of innovative activities in construction]. *Ekonomichnyy prostir* [Economic Space]. 2020, no. 162, pp. 23–29. (in Ukrainian).
2. Isayenko D. *Zakonodavche rehulyuvannya diyal'nosti v budivel'niy haluzi. Osoblyvosti svitovoho dosvidu ta yevropeys'koho pidkhodu do vyznachennya priorytetiv pry formuvanni zhyttyevoho seredovyshcha* [Legislative regulation of activities in the construction industry. Features of global experience and the European approach to defining priorities in shaping the living environment]. *Budivel'ne vyrobnytstvo* [Construction Production]. 2017, no. 63 (2), pp. 11–15. (in Ukrainian).
3. Kozych O.M. *Derzhavne rehulyuvannya budivel'noi diyal'nosti haluzi Ukraïny* [State regulation of construction activities in Ukraine]. *Publichne upravlinnya : teoriya ta praktyka* [Public Administration : Theory and Practice]. 2012, no. 3 (11), pp. 138–142. (in Ukrainian).
4. Olasyuk V. *Derzhavne rehulyuvannya ekonomiky budivel'noyi haluzi* [State regulation of the construction industry economy]. *Naukovi tendentsiyi postindustrial'noho suspil'stva : materialy konferentsiy MTSND* [Scientific Trends of Post-Industrial Society : materials of the MCND's conference]. 2020, pp. 15–17. (in Ukrainian).

Надійшла до редакції: 23.04.2025.



УДК 331.45:504.064.36

DOI: 10.30838/UJCEA.2312.270425.67.1162

## АНАЛІЗ ЗМІН У СУЧАСНІЙ СИСТЕМІ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ ЄВРОПЕЙСЬКИХ КРАЇН

КАЛДА Г. С.<sup>1, 2\*</sup>, докт. техн. наук, проф.,  
ШЕВЕЛЯ В. В.<sup>3</sup>, докт. техн. наук, проф.,  
РИБАЛКА К. А.<sup>4</sup>, канд. техн. наук, доц.,  
РОЖНОВСКИ М.<sup>5</sup>, маг.

<sup>1\*</sup> Кафедра будівництва та цивільної безпеки, Хмельницький національний університет, вул. Інститутська, 11, 29016, Хмельницький, Україна, тел. +38 (097) 478-59-86, e-mail: [kalda.galina@ukr.net](mailto:kalda.galina@ukr.net), ORCID ID: 0000-0001-6309-7661

<sup>2\*</sup> Кафедра водопостачання та водовідведення, Жешувська політехніка, вул. Повстанців Варшави, 12, 35-959, Жешув, Польща, тел. +48 (17) 865-10-68, ORCID ID: 0000-0002-5142-0473

<sup>3</sup> Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства, Хмельницький національний університет, вул. Інститутська, 11, 29016, Хмельницький, Україна, тел. +38 (096) 348-75-59, e-mail: [valeriy.shevelya@gmail.com](mailto:valeriy.shevelya@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-5462-3524

<sup>4</sup> Кафедра охорони праці, цивільної та техногенної безпеки, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (050) 905-51-42, e-mail: [ekaterina.rybalka1980@gmail.com](mailto:ekaterina.rybalka1980@gmail.com), ORCID ID: 0000-0001-7049-6871

<sup>5</sup> Кафедра водопостачання та водовідведення, Жешувська політехніка, вул. Повстанців Варшави, 12, 35-959, Жешув, Польща, тел. +48 (727) 673-971, e-mail: [m.roznowski@prz.edu.pl](mailto:m.roznowski@prz.edu.pl), ORCID ID: 0009-0007-9323-6408

**Анотація. Постановка проблеми.** В статті розглянуто, які зміни у законодавствах європейських країн та окремо у Польщі щодо цивільного захисту мають місце у зв'язку із агресією Росії щодо України. Сьогодні постає питання про захист населення під час воєнних дій. Стало зрозуміло, що цивільний захист населення будь-якої країни має бути переоцінений і реалізований з врахуванням воєнного часу сучасної війни. **Метою** є аналіз змін щодо проведення цивільного захисту у країнах Європи, організації цивільного захисту європейських країн, що пов'язано із можливою агресією Росії щодо інших країн Європи, пріоритету захисту цивільних осіб. **Виклад основного матеріалу.** Захист цивільного населення є ключовим аспектом війни та етичним і стратегічним імперативом у всіх типах конфліктів, від гібридної війни до боротьби з повстанцями та широкомасштабних військових операцій, у яких супротивник може використовувати тактику, спрямовану на нанесення шкоди цивільному населенню (як це зараз спостерігається у війні в Україні). Розглянуто поняття антикризового управління у Польщі та показано, як і де у сучасних лабораторіях проводять навчання за системою антикризового менеджменту. Це підвищить безпеку рятувальних/спеціальних служб та їх компонентів, включаючи рятувальників/солдат і транспортні засоби. **Висновок.** Вивчення проблем, які стосуються передусім економічного сектору кожної країни, головним чином – енергетичної безпеки, що показала Росія під час війни в Україні, знижуючи енергетичні ресурси країни. Метою Росії щодо Центральної та Східної Європи є дестабілізування регіонів, знищення єдності ЄС і НАТО і, в ширшому сенсі, зміна архітектури світової безпеки. Тому фундаментом безпеки європейських країн і конкретно Польщі є союзницькі гарантії безпеки усіх цивілізованих країн, а також зосередження зусиль на збільшенні оборонного потенціалу країн та ефективного захисту і підготовки населення до можливих наслідків воєнних конфліктів.

**Ключові слова:** цивільний захист; антикризове управління; пріоритети захисту

## ANALYSIS OF CHANGES IN THE CURRENT CIVIL PROTECTION SYSTEM OF EUROPEAN COUNTRIES

KALDA G.S.<sup>1, 2\*</sup>, Dr. Sc. (Tech.), Prof.,  
SHEVELYA V.V.<sup>3</sup>, Dr. Sc. (Tech.), Prof.,  
RYBALKA K.A.<sup>4</sup>, Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.,  
ROŻNOWSKI M.<sup>5</sup>, Master

<sup>1\*</sup> Department of Construction and Civil Security, Khmelnytskyi National University, 11, Instytutaska St., Khmelnytskyi, 29016, Ukraine, tel. +38 (097) 478-59-86, e-mail: [kalda.galina@ukr.net](mailto:kalda.galina@ukr.net), ORCID ID: 0000-0001-6309-7661

<sup>2\*</sup> Department of Water Supply and Sewage Systems, Rzeszow University of Technology, 12, al. Powstancow Warszawy, 35-959, Rzeszow, Poland, tel. +48 (17) 865-10-68, ORCID ID: 0000-0002-5142-0473

<sup>3</sup> Department of Tribology, Cars and Materials Science, Khmelnytskyi National University, 11, Instytutska St., Khmelnytskyi, 29016, Ukraine, tel. +38 (068) 202-16-17, e-mail: [valeriy.shevelya@gmail.com](mailto:valeriy.shevelya@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-5462-3524

<sup>4</sup> 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) 905-51-42, e-mail: [ekaterina.rybalka1980@gmail.com](mailto:ekaterina.rybalka1980@gmail.com), ORCID ID: 0000-0001-7049-6871

<sup>5</sup> Department of Water Supply and Sewage Systems, Rzeszow University of Technology, 12, al. Powstancow Warszawy, 35-959, Rzeszow, Poland, tel. +48 (727) 673-971, e-mail: [m.roznowski@prz.edu.pl](mailto:m.roznowski@prz.edu.pl), ORCID ID: 0009-0007-9323-6408

**Abstract. Problem statement.** The article examines the changes in the legislation of European countries and in Poland in particular regarding civil protection in the wake of Russia's aggression against Ukraine. Today, there is a question of protecting the population during military operations. It has become clear that the civil protection of the population of each country should be reassessed and implemented in the light of wartime in the current war. **Purpose** of work is the analyse changes in the conduct of civil protection in European countries, the organization of civil protection in European countries, which is connected with possible Russian aggression against other European countries, the priority of protecting civilians. **Summary of the main material.** The protection of civilians is a key aspect of warfare and an ethical and strategic imperative in all types of conflicts, from hybrid warfare to counterinsurgency and large-scale military operations in which the enemy may use tactics aimed at harming civilians (as is currently the case in the war in Ukraine). The article examines the concept of crisis management in Poland and shows how and where modern laboratories conduct training in the crisis management system. This will increase the safety of rescue/special services and their components, including rescuers/soldiers and vehicles. **Conclusions.** The study of problems that concern primarily the economic sector of each country, mainly – energy security, which Russia showed during the war in Ukraine, reducing the country's energy resources. Russia's goal in Central and Eastern Europe is to destabilize the regions, destroy the unity of the EU and NATO, and, in a broader sense, change the world security architecture. Therefore, the foundation of the security of European countries, and Poland in particular, is allied guarantees of the security of all civilized countries, as well as focusing efforts on increasing the defence potential of countries and effective protection and preparation of the population for the possible consequences of military conflicts.

**Keywords:** *civil protection; anti-crisis management; protection priorities*

**Постановка проблеми.** Війна, яку розпочала Росія на території України у лютому 2022 року, показала всьому світу, що ніякі домовленості та гарантії безпеки на сьогоднішній день не діють. Тому потрібно бути завжди готовим до несподіваної агресії з будь-якої сторони, а, враховуючи можливості сучасної зброї, яка може завдати непоправних збитків за тисячі кілометрів від країни-агресора, то потрібно розуміти, що відстань тепер майже не грає ніякої ролі.

Тому, крім суттєвої допомоги Україні від багатьох країн світу, ці ж самі країни почали нарощувати виробництво зброї для захисту власної землі і життів своїх громадян.

Багато зараз спостерігається змін у законодавствах різних країн щодо міжнародного права з питань цивільного захисту населення від можливої агресії інших країн. Раніше, особливо у європейських країнах, які більш-менш благополучно у мирі жили десятиліттями після другої світової війни, більше всього приділяли уваги цивільному захисту від техногенних та природних катаклізмів. Сьогодні повстає питання про захист

населення під час воєнних дій. Стало зрозуміло, що цивільний захист населення будь-якої країни має бути переоцінений і реалізований з врахуванням воєнного часу сучасної війни.

Війна в Україні, країнах Близького Сходу, натяки і підготовка Китаю до можливих воєнних конфліктів та інші події, за якими спостерігає весь світ, показують, що цивільне населення або не захищене, або погано захищене (винятком може бути тільки Ізраїль) під час збройного конфлікту.

**Аналіз публікацій.** Як видно із публікацій останніх років, що з'явилися під час війни Росії на території України, країни світу, особливо країни Євросоюзу занепокоєні ситуацією, що склалась, із можливою агресією Росії щодо інших країн Європи. Тому на сьогоднішній день можна спостерігати зміни у законодавствах європейських країн щодо цивільного захисту населення, тому що такий захист корінно відрізняється від захисту у мирний час внаслідок природних та техногенних катаклізмів [1–5]. Система цивільного захисту відіграє все більшого значення в забезпеченні національної безпеки

європейських країн і стає предметом зростаючої уваги у рамках міжнародних структур європейської безпеки.

У більшості європейських країн не існує окремих відомств, відповідальних за цивільних захист. Ці функції забезпечується через взаємодію різних спеціалізованих структур, зосереджених зазвичай у міністерствах внутрішніх справ [4; 6–8].

**Метою статті** є аналіз змін щодо проведення цивільного захисту у країнах Європи, організації цивільного захисту європейських країн, що пов'язано із можливою агресією Росії щодо інших країн Європи, пріоритету захисту цивільних осіб.

**Виклад основного матеріалу. Система цивільного захисту європейських країн.**

У даній статті ми розглянемо, як у розвинутих країнах світу – членах НАТО функціонує система цивільного захисту і які перетворення вже сталися або плануються під впливом війни в Україні. Кожен, хто спостерігає за війною в Україні, на Близькому Сході чи загрозами неконтрольованої еміграції в європейських країнах, повинен зробити висновок, що безпека є однією з основних потреб людини. Зі зрозумілих причин найважливішими потребами кожної людини є життя та здоров'я. Відповідальність за це лежить як на управлінні кризовими ситуаціями, так і на цивільній обороні, під терміном якої розуміється виконання всіх або окремих гуманітарних завдань, спрямованих на захист цивільного населення від небезпек, що виникають внаслідок воєнних дій або стихійного лиха, і подолання їх прямих наслідків, а також забезпечення умов, необхідних для виживання. Все це прописано у статті 61 I Додаткового протоколу до Женевських конвенцій.

Як це зараз діє у країнах Європи? По-перше, створені відповідні правові норми, які відповідають вимогам згаданого Додаткового протоколу до Женевських конвенцій [1–3]. Наступним кроком є створення відповідних структур від рівня робочих місць до центральної адміністрації у вигляді міністерства з питань кризових або надзвичайних ситуацій. Міністри,

губернатори, мери, голови селищних адміністрацій мають бути ознайомлені з колом обов'язків, пов'язаних із забезпеченням гарантії безпеки населення, яке проживає на територіях, якими керують ці посадові особи. Вони повинні бути ознайомлені з усіма планами, матеріалами, програмами, процедурами та принципами прийняття рішень, які можуть бути їм корисні для нейтралізації різних загроз. Наступним етапом у цьому процесі має стати навчання всіх створених структур у сфері медичного страхування та страхування відповідальності перед третіми особами. Нарешті, після розробки відповідних базових навчальних програм усі громадяни, включаючи учнів і студентів, мають пройти загальну підготовку із самозахисту. На прикладі Польщі, сусіда, який у 2022 році найбільш активно допомагав українцям у переселенні, можна спостерігати, як змінюється відношення до цивільного захисту, як тепер проводиться навчання населення щодо поведінки під час можливої воєнної загрози, навчання у школах елементарним правилам поведінки при кризових загрозах.

Захист цивільного населення є ключовим аспектом війни та етичним і стратегічним імперативом у всіх типах конфліктів, від гібридної війни до боротьби з повстанцями та широкомасштабних військових операцій, у яких супротивник може використовувати тактику, спрямовану на нанесення шкоди цивільному населенню (як це зараз спостерігається у війні в Україні). Багаточисленні військові операції у країнах Близького Сходу підтвердили, що обмеження шкоди цивільному населенню є необхідною умовою для успіху воєнних операцій і партнерства у галузі безпеки. Війна в Україні говорить про те, що ключем до ефективної оборони буде захист цивільного населення. Якщо збройні сили опираються на міжнародне гуманітарне право (право збройних конфліктів) і впроваджують сильні гарантії у своїх повсякденних операціях, вони можуть обмежити шкоду цивільному населенню від

своїх власних операцій і можуть захистити цивільне населення від дій противника.

Враховуючи непередбачуваність ситуації з безпекою у Європі, вкрай необхідно, щоб НАТО та її окремі члени вдосконалили свої зобов'язання, засновані на цінностях, щодо захисту цивільного населення шляхом політичного керівництва, військової доктрини та стандартних операційних процедур і навчання. Кінцева мета полягає в тому, щоб члени НАТО могли пом'якшити шкоду, завдану їхніми власними операціями, і захистити цивільне населення від дій інших держав.

Сучасний підхід до захисту цивільного населення полягає у поверненні інтенсивної військової діяльності у політику великих держав. Готуючись до зміцнення своєї оборони на східному фланзі, члени НАТО повинні розглядати політику цивільного захисту як ключовий елемент своєї стратегії та фактор формування своєї структури, коли потрібно буде брати до уваги позицію тотальної оборони всіх країн, в тому числі країн Балтії, та її можливі наслідки для захисту громадянського суспільства, а також враховувати масштабні переміщення людей і застосовувати знання та практику цивільного захисту на своїй території.

**Пріоритети захисту цивільних осіб країн-членів НАТО.** Враховуючи зростаючі ризики та гостру безпорадність цивільних осіб перед обличчям конфліктів на території НАТО та за її межами, зараз є унікальна можливість для НАТО підкреслити свою політичну відданість захисту цивільного населення та видати потужний мандат і керівні принципи для його виконання. Це має призвести до того, що країни-члени НАТО будуть пріоритетними для захисту у наступних ключових вимірах:

- як заснований на цінностях імператив для захисту держав-членів НАТО та їхніх громадян;

- як важливий елемент ефективної стратегії, що дозволяє збройним силам підтримувати політичні цілі, одночасно захищаючи цивільне населення від найгірших наслідків конфлікту;

- як ключовий внесок у національну стійкість.

Перш за все, щоб забезпечити ефективний захист і зменшити шкоду від власних дій, НАТО та уряди країн повинні вести діалог з цивільним населенням у звичайній та змістовній формі. Це має включати розвиток спроможностей, процедур, каналів зв'язку, проактивних звичок залучати громадське суспільство до війни. Все це може допомогти військовим зрозуміти оперативне середовище та вплив військової присутності, а також краще передбачити поведінку цивільних під час конфлікту. Взаємодія з громадськістю є також важливою, якщо збройні сили сподіваються отримати та зберегти підтримку цивільних осіб у районі воєнної операції. У мирний час суб'єкти, що не входять до НАТО, включаючи цивільну владу та організації громадянського суспільства, можуть бути цінними партнерами в поточному діалозі, плануванні та навчаннях. Альянс повинен максимально використати наявні в його розпорядженні процеси, такі як процес оборонного планування НАТО, плани поетапного реагування і розгалужену структуру навчань для забезпечення можливостей, необхідних для захисту цивільного населення (розвідувальні засоби, навчання військ, ініціативи врегулювання кризових ситуацій тощо). Все це може сприяти впровадженню нових передових практик безпеки, зокрема підрозділів цивільного відстеження шкоди, відстежувати та аналізувати випадки шкоди цивільному населенню та рекомендувати тактичні та оперативні зміни для зменшення, запобігання та пом'якшення впливу інцидентів, пов'язаних із цивільним населенням. Держави також повинні розглянути можливість встановлення процедур реагування на шкоду цивільним особам – від медичної допомоги до механізмів реабілітації. Це може не тільки зменшити шкоду, але й побудувати кращі цивільно-військові відносини. Членам Альянсу також потрібно буде розробити та передати інформацію про те, як підходити до конфліктів, у яких цивільні особи та

цивільна інфраструктура можуть бути навмисно атаковані, як це сталося в Україні. Це вимагатиме від сил НАТО бути готовими до ситуацій, у яких захист цивільних осіб від дій інших стає пріоритетом, а також бути здатним формувати військові операції, збирати розвідувальну інформацію та співпрацювати з організаціями, що не входять до НАТО. Співпраця НАТО в галузі безпеки вже створила можливості сприяти прийняттю надійних стандартів безпеки серед країн-партнерів. Нещодавній досвід та інноваційні рішення, впроваджені партнерами, а також уроки війни в Україні, як щодо типів шкоди цивільному населенню, так і щодо реагування на них, мають бути включені до партнерських пакетів НАТО.

Оскільки середовище безпеки розвивається та НАТО стикається з новими викликами, то важливість політики захисту цивільного населення під час конфліктів залишається незмінною. Нові обставини приносять із собою бажання реагувати по-новому і підготовка до територіальної оборони може виглядати зовсім інакше, ніж підготовка до врегулювання кризи. Але головний принцип залишається незмінним: захист цивільного населення відрізняється від того, що збройні сили виконують основне завдання ведення війни. Практика воєнних операцій НАТО дає можливість використовувати нові стратегії щодо безпеки людей, а також впровадити сучасну політику щодо безпеки цивільного населення. Захист населення під час воєнних операцій – це не те, що можна запровадити в останню хвилину. Для цього потрібно застосовувати добре перевірені методи та можливості, які дозволять силам НАТО зрозуміти, як найкраще захистити та підтримати цивільне населення. Це дасть можливість зробити цивільно-військову співпрацю ефективнішою.

**Поняття антикризового управління та цивільного захисту.** Розглянемо характеристики понять антикризового управління та цивільного захисту на прикладі Польщі.

Кризове управління та цивільна оборона – ці два поняття дуже подібні, відрізняються вони лише завданням в мирний час або під час війни. Наприклад, є різниця у доставці продуктів харчування у мирний час і під час бойових дій. Наступний приклад – це проблема ймовірного опромінення населення у мирний та воєнний час.

*Польська промисловість та національна система.* Наприклад, можна тут розглядати продукцію польської компанії у сфері військової продукції, такої, як комплексні, інтегровані, мобільні та багатофункціональні автоматизовані бойові та кризові системи, які динамічно та ефективно працюють у сферах національної та союзницької безпеки та оборони. Подібні компанії виконують завдання з оборони країни та країн-союзників і мають одні з найвищих та широких повноважень у сфері промислової безпеки та захисту секретної інформації. Продукція та послуги таких компаній використовуються у:

- більшості підрозділів і установ збройних сил як Польщі, так і багатьох країн-союзників і на найважливіших міжнародних театрах миротворчих і стабілізаційних операцій;

- найбільших військових навчаннях, організованих Збройними силами Польщі, США та НАТО, включаючи командну та комунікаційну підтримку;

- міжнародних проектах та програмах з глобальним охопленням;

- європейських та американських дослідницьких лабораторіях в галузі безпеки.

*Польська система управління кризами.* На сьогоднішній день тестується автоматизована система управління в кризових ситуаціях Jaśmin. Це інноваційна та комплексна система, що стосується структур національних та союзних (НАТО та ЄС) систем управління кризами. Ця система забезпечує комплексну IT-підтримку діяльності органів державного управління (в тому числі силових служб і армії) та місцевого самоврядування під час аварійно-рятувальних та/або кризових ситуацій та пов'язаних з ними виконаннями

превентивних завдань. Ця система підтримує процеси управління, планування, контролю, моніторингу (відображення) реальних загроз політичного, воєнного та невоєнного характеру. Система також призначена для використання в навчальних лабораторіях з управління кризовими ситуаціями. Для цього вона має навчальну версію, яка є системою підтримки (включаючи автоматизацію) процесів командування/управління та, що важливо, діяльності організаційних підрозділів на всіх рівнях управління кризою. Це підвищує безпеку рятувальних/спеціальних служб та їх компонентів, включаючи рятувальників / солдат і транспортні засоби [4; 5].

Найважливіші функції та переваги сучасної системи Jaśmin:

- багаторівневність, тобто можливість використання на національному, відомчому, районному, міському та корпоративному рівнях;

- широка сумісність, що забезпечує інтеграцію з просторовими інформаційними системами, а також з багатьма системами, які зараз використовуються у державному управлінні та Міністерстві національної оборони;

- багаторівнева кібербезпека за рахунок використання відповідного шифрування, контролю доступу, моніторингу системних записів і механізмів ліцензування;

- широкий спектр мережеских послуг, наприклад, відеоконференції, текстові розмови в ЧАТі, канали новин;

- можливість інтеграції із зовнішніми джерелами інформації через дрони, камери рятувальників, міський моніторинг, датчики та вимірювальні станції, канали новин, а також системи оповіщення;

- можливість використання модульної архітектури системи, яка дозволяє підтримувати безперервність роботи в системі в ситуаціях обмеженого доступу до інфраструктури або при повній відсутності доступу до інтернету.

Система антикризового менеджменту Jaśmin також характеризується широким спектром можливостей у навчанні (рис.). Найважливішими серед них є:



*Рис. Навчання за системою антикризового менеджменту Jaśmin*

- проведення практичних занять у рамках спеціального предмету, наприклад «Оператори системи антикризового управління Jaśmin» у сферах, пов'язаних із внутрішньою безпекою;

- вміння планувати та організовувати навчання з кризового менеджменту та навчання захисту, а також розробляти описову та графічну документацію навчань;

- проведення процедур навчання та координації діяльності, що здійснюються різними державними службами (наприклад, армією, поліцією, пожежною бригадою та службами швидкої медичної допомоги), а також групами допомоги, організованими серед цивільних осіб, і швидким автоматичним обміном інформацією між ними;

- збір даних, які можуть бути надані для подальшого аналізу;

- перевірка ефективності діючих та запланованих операційних процедур;

- синхронна взаємодія великої кількості користувачів, що працюють на різних рівнях діяльності;

- здатність моделювати і багаторазово відтворювати безліч різноманітних варіантів дій, ситуацій і поведінки;

- оптимізоване, ефективне та результативне здійснення навчального процесу для організаторів та осіб, які займаються антикризовим управлінням та діяльністю, пов'язаною з протидією та ліквідацією наслідків кризових ситуацій;

- узгодження системи навчання по всій країні, включаючи єдиний шаблон і правила нумерації сертифікатів для дипломів про закінчення, які дають право працювати на

посадах операторів, наприклад, в Урядовому центрі управління в кризових ситуаціях, обласному Центрі управління в кризових ситуаціях, Муніципальному центрі управління в кризових ситуаціях тощо;

– спостереження за вправами та діяльністю студентів, результати яких можуть становити елемент наукового дослідження, а також можуть бути представлені на симпозіумах та наукових конференціях, що проводяться в університетах, та опубліковані у наукових виданнях.

Система антикризового менеджменту Jaśmin на сьогодні вже успішно використовується у навчальній діяльності в рамках навчальних лабораторій у таких університетах Польщі, як:

– Академія військових мистецтв у лабораторії автоматизованих систем управління, а також у навчанні на семінарах, пов'язаних з управлінням кризовими ситуаціями;

– Воєнно-морська академія в Гдині у складі мультимедійної навчально-тренувальної лабораторії Департаменту командування та воєнно-морських операцій;

– Університет міста Каліш у складі лабораторії автоматизованих систем управління в кризових ситуаціях;

– Державна академія прикладних наук у Хелмі у складі лабораторії автоматизованих систем антикризового управління;

– Державна академія прикладних наук у Млаві в рамках навчальної лабораторії автоматизованих систем кризового управління.

Підсумовуючи вищесказане, можна зробити висновок, що ця система функціонує у наступних фазах:

– організаційна, куди включається програмне забезпечення для розробки планів управління кризою, цивільної оборони, захисту культурних цінностей, захисту від повеней; планів евакуації та прийому людей, які включають розробку оцінки загроз, сил та ресурсів, команд управління, ситуаційних та позиційних оперативних процедур;

– практична – у формі віддання наказів та спостереження і контролю у режимі реального часу за діяльністю служб та інших сил і засобів, які беруть участь у нейтралізації подій і кризових ситуацій.

Всі нововведення відповідають умовам, пов'язаним із впровадженням чотирьох етапів кризового менеджменту, тобто запобігання, підготовки, реагування та реконструкції.

Останнім часом у Польщі з'явилась нова література, в якій розглядаються питання цивільного захисту населення під час воєнних конфліктів. Основні аспекти, які розглядаються у сучасних книжках, можна розділити на наступні:

1. Система національної безпеки та організація захисту населення та цивільної оборони, включаючи, серед іншого, основи системи національної безпеки, організації цивільного захисту, принципи цивільного захисту під час воєнного стану, положення національної системи виявлення забруднення та сигналізації.

2. Правова основа захисту та цивільної оборони у Польщі, включаючи серед іншого правові основи функціонування цивільного захисту як у Польщі, так і у інших країнах світу, загальну характеристику основних завдань, покладених на цивільний захист, та методи їх виконання.

3. Організація та завдання цивільної оборони у Польщі, включаючи, серед іншого, основні види діяльності, основи цивільного планування та загальної самооборони.

4. Цивільна оборона в Європі та інших країнах світу, включаючи огляд принципів функціонування цивільної оборони в окремих країнах, міжнародне співробітництво у цих питаннях та деякі проблеми у сфері гуманітарного права.

5. Напрями розвитку цивільного захисту, в тому числі звіти, висновки, зроблені за результатами проведених досліджень, а також рекомендації спеціалістів.

Подібні видання насамперед розраховані на студентів будь-яких навчальних закладів, особливо для спеціальностей, пов'язаних із



національною та внутрішньою безпекою, а також для працівників органів державної влади та місцевого самоврядування [6–8].

### Висновки

Російсько-український конфлікт впливає на безпеку європейських країн, особливо Польщі та країн Балтії, насамперед через близькість країн до Росії. Загрози, які генерує Росія, стосуються передусім економічного сектору, головним чином – енергетичної безпеки. Варто підкреслити, що диверсифікація енергетичних ресурсів через війну в Україні стала однією із стратегічних цілей Польщі.

Мета Росії щодо Центральної та Східної Європи залишається незмінною протягом багатьох років, а саме дестабілізувати регіон, знищити єдність ЄС і НАТО і, в ширшому сенсі, змінити архітектуру світової безпеки.

Тому фундаментом безпеки європейських країн і конкретно Польщі є союзницькі гарантії безпеки усіх цивілізованих країн, а також зосередження зусиль на збільшенні оборонного потенціалу країн та ефективного захисту і підготовки населення до можливих наслідків воєнних конфліктів.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Додатковий протокол до Женевських конвенцій від 12 серпня 1949 року, що стосується захисту жертв міжнародних збройних конфліктів (Протокол I), від 8 червня 1977 року. Законодавство України. URL: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995\\_199](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_199)
2. Case of Isayeva v. Russia (Application № 57950/00). European Court of Human Rights. Judgment of 24 February 2005. URL: <https://hudoc.echr.coe.int/rus?i=001-126122>
3. Case of Georgia v. Russia (II) (Application № 38263/08). European Court of Human Rights. Judgment of 21 January 2021. URL: <https://hudoc.echr.coe.int/fre#%7B%22itemid%22%3A%22001-207757%22%7D>
4. Horbaczewski Robert. Projekt ustawy o ochronie ludności przyjęty przez. Radę Ministrów, 2024.
5. Jagusiak K. Polityka zagraniczna Federacji Rosyjskiej jako źródło zagrożeń dla krajów bałtyckich i ich wpływ na bezpieczeństwo Polski. Warszawa, 2021.
6. Bornio J. Bezpieczeństwo narodowe Polski w kontekście kryzysu ukraińskiego. Wymiar polityczno-militarny. DIFIN. Warszawa, 2019. 284 p.
7. Dębski S., Gorka-Winter B. Kryteria bezpieczeństwa międzynarodowego. 2003.
8. Kitler W., Wojciszko M., Lewandowski G. Identyfikacja rozwiązań prawnych kształtujących systemy sferze bezpieczeństwa wewnętrznego Rzeczypospolitej Polskiej. Funkcjonowanie państwa w warunkach zewnętrznego zagrożenia państwa i w czasie wojny. System bezpieczeństwa narodowego RP w kontekście zagrożeń oraz prawnych aspektów funkcjonowania państwa. Warszawa, 2023.

### REFERENCES

1. *Dodatkovyy protokol do Zhenev's'kykh konventsiy vid 12 serpn'ya 1949 roku, shcho stosuyet'sya zakhystu zhertv mizhnarodnykh zbroynykh konfliktiv (Protokol I), vid 8 chervn'ya 1977 roku. Zakonodavstvo Ukrayiny* [Additional Protocol to the Geneva Conventions of August 12, 1949, relating to the Protection of Victims of International Armed Conflicts (Protocol I), dated June 8, 1977. Legislation of Ukraine]. URL: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995\\_199](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_199) (in Ukrainian).
2. Case of Isayeva v. Russia (Application №. 57950/00), European Court of Human Rights, Judgment of 24 February 2005. URL: <https://hudoc.echr.coe.int/rus?i=001-126122>
3. Case of Georgia v. Russia (II) (Application № 38263/08), European Court of Human Rights, Judgment of 21 January 2021. URL: <https://hudoc.echr.coe.int/fre#%7B%22itemid%22%3A%22001-207757%22%7D>
4. Horbaczewski Robert. Projekt ustawy o ochronie ludności przyjęty przez. Radę Ministrów, 2024. (in Polish).
5. Jagusiak K. Polityka zagraniczna Federacji Rosyjskiej jako źródło zagrożeń dla krajów bałtyckich i ich wpływ na bezpieczeństwo Polski. Warszawa, 2021. (in Polish).
6. Bornio J. Bezpieczeństwo narodowe Polski w kontekście kryzysu ukraińskiego. Wymiar polityczno-militarny. DIFIN. Warszawa, 2019, 284 p. (in Polish).
7. Dębski S. and Gorka-Winter B. Kryteria bezpieczeństwa międzynarodowego. 2003. (in Polish).
8. Kitler W., Wojciszko M. and Lewandowski G. Identyfikacja rozwiązań prawnych kształtujących systemy sferze bezpieczeństwa wewnętrznego Rzeczypospolitej Polskiej. Funkcjonowanie państwa w warunkach zewnętrznego zagrożenia państwa i w czasie wojny. System bezpieczeństwa narodowego RP w kontekście zagrożeń oraz prawnych aspektów funkcjonowania państwa. Warszawa, 2023. (in Polish).

Надійшла до редакції: 03.05.2025.

УДК 69.624.1

DOI: 10.30838/UJCEA.2312.270425.75.1163

## АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ВИПРОБОВУВАННЯ ГВИНТОВОГО ПАЛЬОВОГО ФУНДАМЕНТУ В МІЖНАРОДНОМУ СТАНДАРТІ BS EN ISO 22477-1:2018

КОКОШУЄВ О. П.<sup>1\*</sup>, асп.,

САМЧЕНКО Р. В.<sup>2</sup>, канд. техн. наук, доц.

<sup>1\*</sup> Кафедра промислового та цивільного будівництва, Запорізький національний університет, вул. Університетська, 66, 69011, Запоріжжя, Україна, тел. +38 (096) 649-42-99, e-mail: [a.kokoshuev@gmail.com](mailto:a.kokoshuev@gmail.com), ORCID ID: 0000-0001-5594-2933

<sup>2</sup> Кафедра промислового та цивільного будівництва, Запорізький національний університет, вул. Університетська, 66, 69011, Запоріжжя, Україна, тел. +38 (050) 454-81-65, e-mail: [sektor3@ukr.net](mailto:sektor3@ukr.net)

**Анотація.** У статті проведено детальний аналіз методів випробування гвинтового пальового фундаменту відповідно до міжнародного стандарту BS EN ISO 22477-1:2018. Визначено ключові аспекти статичних випробувань паль, які включають оцінку реальної поведінки палі під навантаженням, визначення її несучої здатності, перевірку відповідності проєктним параметрам, аналіз впливу ґрунтових умов та контроль якості будівництва. Розглянуто фізико-механічні характеристики ґрунтів, їхню неоднорідність та роль у формуванні граничного опору палі, а також можливі методи покращення моделювання взаємодії ґрунту та фундаментної конструкції. Описано основні етапи випробувань, зокрема підготовчий етап (геофізичні, гідрогеологічні та лабораторні дослідження, контроль матеріалів і зварних з'єднань, калібрування обладнання), процедури навантаження та розвантаження, а також сучасні методи моніторингу та інтерпретації результатів. Значну увагу приділено аналізу методів автоматизації процесів випробувань, включаючи застосування сервогідравлічних систем, адаптивних алгоритмів керування, волоконно-оптичних сенсорів, бездротових мереж збору даних та цифрового моделювання. Запропоновано шляхи оптимізації технології випробувань, які передбачають інтеграцію сучасних методів геодезичного моніторингу, автоматизацію процесу навантаження, використання методів машинного навчання для прогнозування поведінки фундаментів, розробку цифрових двійників для реального часу та вдосконалення методик аналізу осідання та стабілізації палі. Впровадження цих підходів сприятиме підвищенню точності випробувальних результатів, оптимізації конструктивних рішень, мінімізації ризиків проєктування та будівництва, підвищенню ефективності геотехнічних досліджень та довговічності фундаментних конструкцій.

**Ключові слова:** гвинтовий пальовий фундамент; статичні випробування; несуча здатність; BS EN ISO 22477-1:2018; геотехнічні дослідження; контроль якості; цифрове моделювання; моніторинг; автоматизація випробувань

## ANALYSIS OF THE TESTING TECHNOLOGY FOR SCREW PILE FOUNDATIONS IN THE INTERNATIONAL STANDARD BS EN ISO 22477-1:2018

KOKOSHUYEV O.P.<sup>1\*</sup>, PhD Stud.,

SAMCHENKO R.V.<sup>2</sup>, Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.

<sup>1\*</sup> Department of Industrial and Civil Engineering, Zaporizhzhia National University, 66, Universytetska St., Zaporizhzhia, 69011, Ukraine, tel. +38 (096) 649-42-99, e-mail: [a.kokoshuev@gmail.com](mailto:a.kokoshuev@gmail.com), ORCID ID: 0000-0001-5594-2933

<sup>2</sup> Department of Industrial and Civil Engineering, Zaporizhzhia National University, 66, Universytetska St., Zaporizhzhia, 69011, Ukraine, tel. +38 (050) 454-81-65, e-mail: [sektor3@ukr.net](mailto:sektor3@ukr.net)

**Abstract.** The article provides a detailed analysis of the testing methods for screw pile foundations in accordance with the international standard BS EN ISO 22477-1:2018. The key aspects of static pile testing are identified, including the assessment of the actual behaviour of the pile under load, determination of its bearing capacity, verification of compliance with design parameters, analysis of the impact of soil conditions and construction quality control. The physical and mechanical characteristics of soils, their heterogeneity and role in the formation of the ultimate pile resistance, as well as possible methods for improving the modelling of the interaction between soil and foundation structure are considered. The main stages of testing are described, including the preparatory stage (geophysical,

hydrogeological and laboratory research, control of materials and welded joints, equipment calibration), loading and unloading procedures, as well as modern methods of monitoring and interpreting the results. Considerable attention is paid to the analysis of methods for automating testing processes, including the use of servo-hydraulic systems, adaptive control algorithms, fibre-optic sensors, wireless data acquisition networks and digital modelling. Ways to optimise the testing technology are proposed, including the integration of modern geodetic monitoring methods, automation of the loading process, the use of machine learning methods to predict the behaviour of foundations, the development of digital twins for real-time, and the improvement of methods for analysing settlement and pile stabilisation. The implementation of these approaches will help to improve the accuracy of test results, optimise design solutions, minimise design and construction risks, increase the efficiency of geotechnical research and the durability of foundation structures.

**Keywords:** *helical pile foundation; static testing; bearing capacity; BS EN ISO 22477-1:2018; geotechnical research; quality control; digital modelling; monitoring; test automation*

**Мета статті.** Проаналізувати технологію випробування гвинтового пальового фундаменту відповідно до міжнародних стандартів та розробити рекомендації щодо її оптимізації шляхом впровадження сучасних методів моніторингу, автоматизації процесів та вдосконалення аналітичних підходів до оцінки несучої здатності паль.

#### **Виклад основного матеріалу.**

*Сутність випробування гвинтового пальового фундаменту.*

Основною метою статичних випробувань паль є забезпечення надійності фундаментних конструкцій шляхом оцінки їх реальної тримальної здатності та відповідності проектним вимогам. Це дозволяє мінімізувати ризики відмов фундаменту та гарантувати стійкість всієї споруди в різних експлуатаційних умовах.

Ключовими аспектами випробування паль є [1–3]:

- Оцінка реальної поведінки палі, а саме визначається ступінь деформації палі при різних рівнях навантаження (статичний осад). Аналізуються пружні та пластичні деформації, які мають важливе значення для прогнозування довгострокової роботи конструкції. Вивчається вплив ґрунтових умов (тип ґрунту, щільність, вологість) на осідання палі.

- Перевірка відповідності проектним параметрам, а саме палі має відповідати розрахунковим характеристикам, визначеним у проектній документації. Підтверджується відповідність значень граничного опору палі, зокрема опору основи палі (розподілена сила, що виникає в

зоні контакту нижньої частини палі з ґрунтом), та тертя вздовж валу палі (сили зчеплення між стовбуром палі та ґрунтом). Випробування дозволяють виявити невраховані фактори (наприклад, неоднорідність ґрунтового шару), які можуть суттєво впливати на поведінку фундаменту.

- Оцінка тримальної здатності за граничним станом, а саме граничний стан досягається, коли навантаження, прикладене до палі, викликає неприйнятно великі деформації, що впливають на стійкість споруди. Випробування дають змогу точно визначити максимальне навантаження, яке палі може витримати, та характеристики руйнування ґрунту під основою палі чи втрату зчеплення уздовж її валу. Результати використовуються для перевірки або корекції проектних моделей.

- Аналіз роботи палі в експлуатаційних умовах, а саме мета полягає у визначенні того, як палі працюватиме під звичайними експлуатаційними навантаженнями, не досягаючи граничного стану. Проводиться оцінка накопичуваних осідань за багатоциклових навантажень, що відображає її поведінку у випадках, коли навантаження повторюються (наприклад, у мостах, портових спорудах). Оцінюється можливість повзучості палі (довготривале повільне осідання) під постійними навантаженнями.

- Визначення критеріїв проектування та моделювання, а саме результати випробувань палі дозволяють уточнити параметри моделювання для геотехнічних розрахунків. Це особливо важливо для

перевірки факторів безпеки, що використовуються в розрахунках та адаптації проектних моделей до реальних ґрунтових умов. Забезпечується інтеграція даних випробувань у проектні рішення.

- Контроль якості будівельних робіт, а саме використання випробувань як засобу перевірки коректності виконання робіт із монтажу паль. Перевіряється якість матеріалів палі (бетон, сталь), технологія забивання чи буріння, що впливає на її функціональність. Виявляються потенційні дефекти (порожнечі в бетоні, неправильна форма палі, недоліки армування).

- Внесок у загальну надійність споруди, а саме забезпечується перевірка фундаменту як критичного елемента всієї споруди. Оцінюється взаємодія палі з іншими конструктивними елементами та вплив на загальну стійкість.

Статичне випробування паль – це ключовий етап геотехнічного дослідження, що дозволяє інженерам отримати точні дані для розрахунків, забезпечити відповідність проекту та гарантувати довготривалу експлуатацію фундаментів.

*Шляхи оптимізації технології випробування гвинтового пальового фундаменту.*

Випробування гвинтових паль є критично важливим етапом у проектуванні та будівництві фундаментів на різноманітних ґрунтах, особливо в умовах слабких, насичених водою або мерзлих ґрунтів. Оптимізація технології випробувань спрямована на забезпечення достовірних та репрезентативних результатів, підвищення ефективності, економічності, безпеки та інтеграцію сучасних технологій для більш точного прогнозування поведінки паль під навантаженням в реальних умовах експлуатації. Цей текст базується на загальних принципах, викладених у стандарті BS EN ISO 22477-1:2018 (Геотехнічні дослідження та випробування. Випробування на навантаження геотехнічних конструкцій. Частина 1. Загальні правила), та враховує специфіку випробувань саме гвинтових паль.

1. Підготовчий етап.

Аналіз умов тестування.

Комплексні геофізичні дослідження: Застосування комплексу методів, таких як георадарне зондування (GPR), сейсмічна розвідка (сейсмотомографія, метод заломлених хвиль), електротомографія (ERT), дозволяє отримати детальну інформацію про геологічну будову ділянки, наявність неоднорідностей (лінзи, прошарки, карстові порожнини), рівень ґрунтових вод, глибину залягання скельних порід та інші важливі параметри. Важливо не тільки виявити неоднорідності, але й оцінити їхні розміри, форму та орієнтацію, а також потенційний вплив на результати випробувань та несучу здатність паль.

Детальне ґрунтове зондування: Використання статичного зондування (CPT) з різними типами наконечників (конус, п'єзоконус, сейсмічний конус), динамічного зондування (SPT), буріння з відбором зразків ґрунту для лабораторних випробувань (гранулометричний склад, вологість, щільність, межі текучості та пластичності, кут внутрішнього тертя, зчеплення) дозволяє отримати детальні дані про механічні та фізичні властивості ґрунтів на різних глибинах. Особливу увагу слід приділяти визначенню опору ґрунту на глибині закладання лопаті гвинтової палі.

Гідрогеологічні дослідження: Визначення статичного та динамічного рівнів ґрунтових вод, їх хімічного складу (агресивність до металу) та сезонних коливань є критично важливим для коректної інтерпретації результатів випробувань та прогнозування корозійної стійкості паль.

Моделювання з урахуванням геологічної мінливості: Використання геостатистичних методів (кригінг, варіаційний аналіз) та стохастичного моделювання дозволяє врахувати природну мінливість ґрунтових властивостей та створити більш реалістичні цифрові моделі ґрунтового масиву для подальшого чисельного моделювання поведінки паль.

Оптимізація підготовки гвинтових паль.

Контроль якості матеріалів: Перевірка якості сталі, зварних з'єднань та

антикорозійного покриття відповідно до діючих стандартів (таких як, EN 1090, ISO 3834, EN ISO 1461) [4].

Точне позиціонування: Використання геодезичних інструментів (нівелір, тахеометр, GPS/GNSS-приймачі) або спеціальних пристроїв для центрування та вертикалізації забезпечує точне положення палі перед початком загвинчування. Важливо контролювати кут нахилу палі під час загвинчування.

Контроль зварних з'єднань: Застосування методів неруйнівного контролю, таких як візуальний огляд (VT), ультразвуковий контроль (UT), магнітопорошковий контроль (MT), капілярний контроль (PT) для виявлення можливих дефектів зварних швів (тріщини, пори, несплавлення).

Антикорозійний захист: Застосування ефективних антикорозійних покриттів, таких як гаряче цинкування (відповідно до EN ISO 1461 [5]), термодифузійне цинкування, епоксидні або полімерні покриття, для забезпечення довговічності палі в агресивних ґрунтових умовах.

Калібрування обладнання.

Періодична перевірка та калібрування: Забезпечення регулярної перевірки та калібрування всіх вимірювальних приладів (датчики тиску, сили, переміщення, тензометри) в акредитованих лабораторіях згідно з встановленими стандартами.

Метрологічна простежуваність: Забезпечення простежуваності калібрувальних даних до національних та міжнародних еталонів.

Захист від зовнішніх впливів.

Моніторинг метеорологічних умов: Реєстрація температури, вологості, атмосферного тиску, швидкості та напрямку вітру під час випробувань. Врахування впливу вітру на результати випробувань, особливо при випробуванні високих палі. За необхідності встановлення вітрозахисних екранів.

## 2. Процедура завантаження.

Автоматизація прикладення навантаження.

Сервогідравлічні системи:

Використання сервогідравлічних приводів з цифровим керуванням забезпечує високу точність та динаміку прикладення навантаження з можливістю програмування різних режимів навантаження (ступеневе, безперервне, циклічне, швидкісне).

Програмування циклів навантаження: Можливість програмування різних режимів навантаження відповідно до вимог стандарту та специфічних умов (наприклад, циклічні випробування для імітації динамічних навантажень від вітру або сейсмічних впливів).

Оптимізація етапів навантаження.

Адаптивні алгоритми керування: Використання алгоритмів, що автоматично адаптують параметри навантаження (крок навантаження, час витримки) в залежності від поведінки палі, дозволяє оптимізувати процес випробування та отримати більш детальну інформацію про її тримальну здатність.

Аналіз кривих «навантаження – осідання»: Автоматична побудова та аналіз кривих «навантаження – осідання» в реальному часі для визначення ключових параметрів поведінки палі (граничне навантаження, жорсткість, коефіцієнт пружної основи).

Контроль стабілізації.

Використання чітких критеріїв стабілізації осідання відповідно до стандарту BS EN ISO 22477-1:2018 (наприклад, швидкість осідання менше заданого значення протягом певного часу).

## 3. Процедура розвантаження.

Контрольоване розвантаження: Забезпечення плавного та контрольованого зниження навантаження з визначеною швидкістю з метою мінімізації залишкових деформацій та отримання точних даних про пружні властивості палі. Реєстрація кривої «розвантаження – відновлення».

## 4. Моніторинг і вимірювання.

Системи геодезичного моніторингу: Використання GPS/GNSS-приймачів, нівелірів, тахеометрів, лазерних сканерів для високоточного контролю положення та переміщень палі в трьох вимірах. Особлива увага приділяється вимірюванню

вертикальних переміщень (осідання), а також можливих горизонтальних зсувів та кутів нахилу палі.

**Датчики тиску та сили:** Використання високоточних тензометричних датчиків (датчики сили, тензокільця, тензометричні балки) для вимірювання прикладеного навантаження з високою точністю та мінімальною похибкою. Важливо забезпечити правильне встановлення та калібрування датчиків.

**Датчики переміщення:** Використання лінійних потенціометрів, індуктивних датчиків, лазерних датчиків відстані для точного вимірювання вертикальних та горизонтальних переміщень палі.

**Волоконно-оптичні датчики:** Застосування волоконно-оптичних датчиків деформації (FBG-сенсори, розподілені волоконно-оптичні системи) для моніторингу розподілу деформацій по довжині палі, а також для вимірювання температури. Ці датчики дозволяють отримати детальну інформацію про роботу палі під навантаженням та виявити можливі дефекти.

**Автоматизовані системи збору даних (SCADA):** Інтеграція всіх вимірювальних приладів в єдину систему збору, обробки та візуалізації даних. SCADA-системи забезпечують синхронний збір даних з різних датчиків, їхню обробку в реальному часі, візуалізацію результатів у вигляді графіків та таблиць, а також зберігання даних для подальшого аналізу.

#### 5. Інтерпретація результатів та звітність.

**Аналіз кривих «навантаження – осідання»:** Детальний аналіз отриманих кривих «навантаження – осідання» для визначення ключових параметрів поведінки палі.

**Граничне навантаження** (згідно з критеріями стандарту).

**Жорсткість палі.**

**Коефіцієнт пружної основи.**

**Характер деформацій** (пружні, пластичні).

**Статистичний аналіз даних:** Використання статистичних методів (середнє значення, стандартне відхилення,

кореляційний аналіз) для обробки та аналізу результатів випробувань, особливо при проведенні серії випробувань.

**Порівняння з прогнозними значеннями:** Порівняння отриманих результатів з результатами розрахунків та прогнозів, виконаних за різними методиками (аналітичні розрахунки, чисельне моделювання). Оцінка достовірності прогнозних моделей.

**Формування звіту:** Створення детального звіту про проведені випробування, що включає:

Опис об'єкта та умов випробувань.

Характеристики ґрунту.

Характеристики палі.

Опис методики випробувань.

Результати вимірювань (графіки, таблиці).

Аналіз результатів та висновки.

Рекомендації щодо проектування фундаментів.

Фото- та відеофіксація процесу випробувань.

#### 6. Вдосконалення технологій.

**Бездротові сенсорні мережі:** Використання бездротових технологій (Wi-Fi, Bluetooth, LoRaWAN) для збору даних з датчиків, що дозволяє спростити монтаж та зменшити вартість випробувань.

**Технології Big Data та хмарні обчислення:** Використання потужних обчислювальних ресурсів для обробки та аналізу великих обсягів даних, отриманих під час випробувань, а також для створення баз даних та прогностичних моделей.

**Штучний інтелект та машинне навчання:** Застосування алгоритмів машинного навчання для аналізу даних випробувань, прогнозування поведінки палі під навантаженням, оптимізації параметрів випробувань та автоматичного виявлення аномалій.

**Цифрові двійники:** Створення цифрових двійників будівельних об'єктів, що включають цифрові моделі фундаментів та результати випробувань палі, для моніторингу їхнього стану в реальному часі та прогнозування довгострокової поведінки.

Сенсорні гвинтові палі: Впровадження в конструкцію паль вбудованих датчиків (тиску, деформації, температури, корозії), що дозволяють здійснювати постійний моніторинг їхнього стану під час експлуатації.

### Висновок

Впровадження запропонованих заходів дозволить досягти значного прогресу в технології випробування гвинтових паль, забезпечуючи:

- підвищення надійності та безпеки будівельних конструкцій;
- оптимізацію проектних рішень та зниження витрат на будівництво;
- покращення якості геотехнічних досліджень;
- підвищення оперативності та ефективності проведення випробувань;
- створення бази даних для подальшого розвитку технологій проектування та будівництва фундаментів на гвинтових палях.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. BS EN ISO 22477-1:2018. Part 1: Testing of piles: static compression load testing. Part 1: General requirements. London, 2018. 24 p.
2. ДСТУ Б В.2.1-1-95 (ГОСТ 5686-94). Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Методи польових випробувань палями. Київ : Держбуд, 1995. 57 с.
3. ДСТУ Б В.2.1-27:2010. Основи та фундаменти споруд. Палі. Визначення несучої здатності за результатами польових випробувань. Київ : Мінрегіонбуд, 2011. 11 с.
4. ДСТУ Б EN 1090-1:2014. Виконання сталевих і алюмінієвих конструкцій. Частина 1. Вимоги до оцінки відповідності компонентів конструкцій (EN 1090-1:2009+A1:2011, IDT). Київ : Мінрегіонбуд, 2015. 58 с.
5. ДСТУ EN ISO 1461:2024. Покриття, нанесені методом гарячого цинкування на вироби із чавуну та сталі. Технічні вимоги та методи випробування (EN ISO 1461:2022, IDT; ISO 1461:2022, IDT). Київ : Мінрегіонбуд, 2024. 16 с.

### REFERENCES

1. British Standards Institution. BS EN ISO 22477-1:2018. Testing of piles. Static compression load testing. Part 1: General requirements. London, 2018, 24 p.
2. *DSTU B V.2.1-1-95. Osnovy ta pidvalyny budynkiv i sporud. Grunty. Metody poliovykh vyprobuvan paliamy* [DSTU B V.2.1-1-95. Foundations and basements of buildings and structures. Soils. Methods of field testing of piles]. Kyiv : Derzhbud, 1995, 57 p. (in Ukrainian).
3. *DSTU B V.2.1-27:2010. Osnovy ta fundamenti sporud. Pali. Vyznachennia nesuchoi zdatnosti za rezultaty poliovykh vyprobuvan* [DSTU B V.2.1-27:2010. Foundations and structures. Piles. Determination of bearing capacity based on field tests]. Kyiv : Minregionbud, 2011, 11 p. (in Ukrainian).
4. *DSTU B EN 1090-1:2014. Vykonannia stalevykh i aluminumievykh konstruksii. Chastyna 1. Vymohy do otsinky vidpovidnosti komponentiv konstruksii* [DSTU B EN 1090-1:2014. Execution of steel and aluminium structures. Part 1: Requirements for conformity assessment of structural components]. (EN 1090-1:2009+A1:2011, IDT). Kyiv: Minregionbud, 2015, 58 p. (in Ukrainian).
5. *DSTU EN ISO 1461:2024. Pokryttya, naneseni metodom haryachoho tsynkuvannya na vyroby iz chavunu ta stali. Tekhnichni vymohy ta metody vyprobuвання* [DSTU EN ISO 1461:2024. Hot-dip galvanized coatings on fabricated iron and steel articles. Specifications and test methods]. (EN ISO 1461:2022, IDT; ISO 1461:2022, IDT). Kyiv : Minregionbud, 2024, 16 p. (in Ukrainian).

Надійшла до редакції: 15.04.2025.



УДК 666.031

DOI: 10.30838/UJCEA.2312.270425.81.1164

## ВПЛИВ ЧАСУ ПЕРЕМІШУВАННЯ БЕТОННИХ СУМІШЕЙ НА МІЦНІСНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОНСТРУКЦІЙНИХ БЕТОНІВ

КОНОПЛЯНИК О. Ю.<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доц.,  
ЖУК Д. В.<sup>2\*</sup>, асп.

<sup>1</sup> 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 (067) 762-24-55, e-mail: [konoplianiuk.alexander@gmail.com](mailto:konoplianiuk.alexander@gmail.com), ORCID ID: 0000-0003-4664-8809

<sup>2\*</sup> 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 (096) 834-19-31, e-mail: [dmitrij.zhuk.98d@gmail.com](mailto:dmitrij.zhuk.98d@gmail.com), ORCID ID: 0009-0001-2454-4980

**Анотація. Постановка проблеми.** В теперішній час в Україні переважна кількість будівель і споруд будується з використанням конструкційного бетону. Зростаючий попит на монолітний бетон ставить перед виробниками завдання забезпечення якісних характеристик бетонних сумішей, які в значній мірі впливають на міцнісні та деформативні характеристики конструкційних бетонів. Одним із напрямків досягнення високої якості бетонних сумішей – є технологічний напрямок, який включає в себе використання сучасних бетонозмішувачів та оптимальну технологію перемішування компонентів суміші. **Аналіз сучасного стану** розробки та дослідження бетонів показав, що одним з технологічних факторів перемішування бетонної суміші – є вибір оптимального часу перемішування суміші, який значно впливає на міцнісні характеристики отриманого бетону. **Аналіз публікацій** показав, що значний вплив на якість перемішування має його тривалість, яка в змішувачах циклічної дії визначається з моменту завантаження всіх матеріалів до початку вивантаження [1]. При недостатній тривалості перемішування погіршується однорідність бетону та знижується його міцність. Збільшення тривалості перемішування веде до отримання однорідної бетонної суміші, але мало впливає на міцність бетону, яка збільшується не суттєво. Практичні дослідження Шалона [2] свідчать, що однорідність бетонної суміші визначається межею міцності бетонних зразків на стиск після певного часу перемішування, а найбільш помітний ефект підвищення міцності зразків спостерігається при перемішуванні суміші в інтервалі 1–2 хвилин. Проте збільшення часу перемішування до 10 хвилин призводить лише до незначного підвищення міцності бетонних зразків. Автори [3] на основі досліджень досягнення рівномірності суміші представляють в вигляді графіку залежності від умовного часу перемішування. При цьому умовний час перемішування відповідає проміжку часу від початку перемішування до досягнення рівномірності суміші і знаходиться в межах 30–600 секунд, а оптимальне досягнення міцності досягається в межах 30–240 секунд перемішування бетонної суміші. Нормативний документ [4] регламентує тривалість перемішування суміші у стаціонарному циклічному змішувачі, яка знаходиться в інтервалі від 50 до 120 секунд і залежить від щільності заповнювача і рухливості суміші. Регламент для виготовлення високорухливих сумішей [5, п. 3.16] передбачає, що час перемішування бетонної суміші повинен бути не менше 4–5 хвилин, а при використанні додатків фібри – не менше 7 хвилин, з яких 5 хвилин – це час сухого змішування компонентів. Автори [6] в результаті випробувань зробили висновки, що час перемішування 45 секунд для бетонних сумішей, які призначені для будівництва покриттів доріг і аеродромів, недостатній, так як розкид значень достатньо великий і виходить за нижню та верхню межу, як для параметра повітряприймання, так і при рухомості сумішей. При перемішуванні бетонної суміші 90 секунд стабілізуються показники повітряприймання та рухомості. Час перемішування 120 секунд по розкиду результатів співпадає з часом перемішування 90 секунд, тому більш довге перемішування не доцільне. Нормативний документ [7, п. 5.2.2] визначає, що порядок завантаження компонентів, тривалість перемішування бетонної суміші мають бути встановлені для конкретних матеріалів і умов використовуваного бетонозмішувального обладнання шляхом оцінки рухливості бетонної суміші, однорідності і міцності бетону в конкретному замісі. **Мета статті** полягає в дослідженні технологічного фактору отримання якісних бетонних сумішей в залежності від часу їх перемішування. При цьому слід визначити закономірність зміни міцнісних та деформативних характеристик конструкційних бетонів в залежності від часу перемішування сумішей. **Висновки.** Встановлено, що одним з основних технологічних факторів, які значно впливають на якість бетонних сумішей є тривалість перемішування бетонної суміші. Проведені дослідження кубикової та призмової міцності конструкційних бетонів, отриманих при часі перемішування суміші від 90 до 480 с. Класи бетону, визначені за результатами кубикової міцності, отримані на основі вирахування коефіцієнтів варіації міцності при різних часах перемішування суміші, виявились однаковими і склали C16/20 (B20). Класи бетону, визначені за результатами призмової міцності, виявились різними, при цьому найбільші показники класу бетону C30/35 (B35) і C25/30 (B30) виявились у бетонів складів № 1 і 3 при часі перемішування суміші 480 і 180 с відповідно.

В цьому випадку, отриманий результат перевищення призмової міцності над кубіковою міцністю не є типовим, а підтвердження або спростування визначених класів бетону за міцністю можна отримати в результаті дослідження деформативних характеристик бетонів шляхом визначення їх модуля пружності.

**Ключові слова:** бетонна суміш; час перемішування суміші; конструкційний бетон; міцність бетону; клас бетону

## INFLUENCE OF MIXING TIME OF CONCRETE MIXTURES ON THE STRENGTH CHARACTERISTICS OF STRUCTURAL CONCRETE

KONOPLIANYK O.Yu.<sup>1</sup>, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*,  
ZHUK D.V.<sup>2\*</sup>, *Postgrad. Stud.*

<sup>1</sup> 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) 762-24-55, e-mail: [konoplianyk.alexander@gmail.com](mailto:konoplianyk.alexander@gmail.com), ORCID ID: 0000-0003-4664-8809

<sup>2\*</sup> 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 (096) 834-19-31, e-mail: [dmitrij.zhuk.98d@gmail.com](mailto:dmitrij.zhuk.98d@gmail.com), ORCID ID: 0009-0001-2454-4980

**Abstract. Problem statement.** Currently, in Ukraine, the vast majority of buildings and structures are built using structural concrete. The growing demand for monolithic concrete poses the task of ensuring the quality characteristics of concrete mixtures, which significantly affect the strength and deformation characteristics of structural concrete. One of the directions for achieving high quality concrete mixtures is the technological direction, which includes the use of modern concrete mixers and optimal technology for mixing the mixture components. **Analysis of the current state** of development and research of concretes has shown that one of the technological factors for mixing a concrete mixture is the choice of the optimal mixing time of the mixture, which significantly affects the strength characteristics of the resulting concrete. **Analysis of publications** has shown that its duration has a significant impact on the quality of mixing, which in cyclic mixers is determined from the moment of loading all materials to the beginning of unloading [1]. With insufficient mixing duration, the homogeneity of concrete deteriorates and its strength decreases. Increasing the mixing time leads to obtaining a homogeneous concrete mixture, but has little effect on the strength of concrete, which increases insignificantly. Practical studies by Chalon [2] show that the homogeneity of the concrete mixture is determined by the compressive strength of concrete samples after a certain mixing time, and the most noticeable effect of increasing the strength of samples is observed when mixing the mixture in the interval of 1–2 minutes. However, increasing the mixing time to 10 minutes leads to only a slight increase in the strength of concrete samples. The authors [3], based on research, present the achievement of mixture uniformity in the form of a graph depending on the conditional mixing time. In this case, the conditional mixing time corresponds to the time interval from the start of mixing to achieving mixture uniformity and is within 30–600 seconds, and the optimal achievement of strength is achieved within 30–240 seconds of mixing the concrete mixture. The regulatory document [4] regulates the duration of mixing the mixture in a stationary cyclic mixer, which is in the range from 50 to 120 seconds and depends on the density of the aggregate and the mobility of the mixture. The regulation for the production of high-mobility mixtures [5, p. 3.16] provides that the mixing time of the concrete mixture should be at least 4–5 minutes, and when using fiber additives – at least 7 minutes, of which 5 minutes is the time of dry mixing of the components. The authors [6], as a result of tests, concluded that the mixing time of 45 seconds for concrete mixtures intended for the construction of road and airfield surfaces is insufficient, since the spread of values is quite large and goes beyond the lower and upper limits, both for the air entrainment parameter and for the mobility of the mixtures. When mixing the concrete mixture for 90 seconds, the air entrainment and mobility indicators stabilize. The mixing time of 120 seconds according to the scatter of the results coincides with the mixing time of 90 seconds, therefore longer mixing is not advisable. The regulatory document [7, p. 5.2.2] determines that the order of loading the components, the duration of mixing the concrete mixture should be established for specific materials and conditions of the concrete mixing equipment used by assessing the mobility of the concrete mixture, the homogeneity and strength of concrete in a specific batch. **The purpose of the article** is to study the technological factor of obtaining high-quality concrete mixtures depending on the time of their mixing. In this case, it is necessary to determine the pattern of changes in the strength and deformation characteristics of structural concretes depending on the time of mixing the mixtures. **Conclusions.** It was established that one of the main technological factors that significantly affect the quality of concrete mixtures is the duration of mixing the concrete mixture. Studies of the cubic and prismatic strength of structural concretes obtained with a mixing time of the mixture from 90 to 480 s were conducted. The concrete classes determined by the results of cubic strength, obtained on the basis of the calculated coefficients of variation of strength at different times of mixing the mixture, turned out to be the same and amounted to C16/20 (B20). The concrete classes determined by the results of prismatic strength turned out to be different, with the highest indicators of the concrete class C30/35 (B35) and C25/30 (B30) being found in concretes of

compositions no. 1 and 3 at a time of mixing the mixture of 480 and 180 s, respectively. In this case, the obtained result of exceeding the prismatic strength over the cubic strength is not typical, and confirmation or refutation of the determined concrete classes by strength can be obtained as a result of studying the deformation characteristics of concretes by determining their modulus of elasticity.

**Keywords:** *concrete mixture; mixing time; structural concrete; concrete strength, concrete class*

**Постановка проблеми.** В теперішній час в Україні переважна кількість будівель і споруд будується з використанням конструкційного бетону. Зростаючий попит на монолітний бетон ставить перед виробниками завдання забезпечення якісних характеристик бетонних сумішей, які в значній мірі впливають на міцнісні та деформативні характеристики конструкційних бетонів. Одним із напрямків досягнення високої якості бетонних сумішей – є технологічний напрямок, який включає в себе використання сучасних бетонозмішувачів та оптимальну технологію перемішування компонентів суміші.

**Аналіз сучасного стану** розробки та дослідження бетонів показав, що одним з технологічних факторів перемішування бетонної суміші – є вибір оптимального часу перемішування суміші, який значно впливає на міцнісні характеристики отриманого бетону.

**Аналіз публікацій** показав, що значний вплив на якість перемішування має його тривалість, яка в змішувачах циклічної дії визначається з моменту завантаження всіх матеріалів до початку вивантаження [1]. При недостатній тривалості перемішування погіршується однорідність бетону та знижується його міцність. Збільшення тривалості перемішування веде к отриманню однорідної бетонної суміші, але мало впливає на міцність бетону, яка збільшується не суттєво. Практичні дослідження Шалона [2] свідчать, що однорідність бетонної суміші визначається межею міцності бетонних зразків на стиск після певного часу перемішування, а найбільш помітний ефект підвищення міцності зразків спостерігається при перемішуванні суміші в інтервалі 1–2 хвилин. Проте збільшення часу перемішування до 10 хвилин призводить лише до незначного підвищення міцності бетонних зразків.

Автори [3] на основі досліджень досягнення рівномірності суміші представляють в вигляді графіку залежності від умовного часу перемішування. При цьому умовний час перемішування відповідає проміжку часу від початку перемішування до досягнення рівномірності суміші і знаходиться в межах 30–600 секунд, а оптимальне досягнення міцності досягається в межах 30–240 секунд перемішування бетонної суміші. Нормативний документ [4] регламентує тривалість перемішування суміші у стаціонарному циклічному змішувачі, яка знаходиться в інтервалі від 50 до 120 секунд і залежить від щільності заповнювача і рухливості суміші. Регламент для виготовлення високорухливих сумішей [5, п. 3.16] передбачає, що час перемішування бетонної суміші повинен бути не менше 4–5 хвилин, а при використанні додатків фібри – не менше 7 хвилин, з яких 5 хвилин – це час сухого змішування компонентів. Авторі [6] в результаті випробувань зробили висновки, що час перемішування 45 секунд для бетонних сумішей, які призначені для будівництва покриттів доріг і аеродромів, недостатній, так як розкид значень достатньо великий і виходить за нижню та верхню межу, як для параметра повітряприймання, так і при рухомості сумішей. При перемішуванні бетонної суміші 90 секунд стабілізуються показники повітряприймання та рухомості. Час перемішування 120 секунд по розкиду результатів співпадає з часом перемішування 90 секунд, тому більш довге перемішування не доцільне. Нормативний документ [7] визначає, що порядок завантаження компонентів, тривалість перемішування бетонної суміші мають бути встановлені для конкретних матеріалів і умов використання бетонозмішувального обладнання шляхом

оцінки рухливості бетонної суміші, однорідності і міцності бетону в конкретному замісі.

**Мета роботи** полягає в дослідженні технологічного фактору отримання якісних бетонних сумішей в залежності від часу їх перемішування. При цьому слід визначити закономірність зміни міцнісних характеристик конструкційних бетонів в залежності від часу перемішування сумішей.

**Виклад матеріалу.** Оскільки отримання якісних бетонних сумішей технологічно

можливе лише при застосуванні новітніх бетонозмішувачів та оптимально підібраних складів бетонних сумішей, то дослідження впливу часу перемішування суміші на міцнісні характеристики бетонів проводили на бетонозмішувачі марки «Айріх» який дозволяє виготовлювати бетонні суміші певної консистенції. Загальний вигляд бетонозмішувача марки «Айріх» наведений на рисунку 1.



Рис. 1. Загальний вигляд бетонозмішувача марки «Айріх»

В загальному вигляді бетонозмішувач складається з шафи управління та резервуара бетонозмішувача. Згідно завдання задається частота обертання змішувача та лопатей системи, а також кут похилу змішувача.

Бетонозмішувач марки «Айріх» забезпечує наступні технічні характеристики: об'єм барабану (чаші) – 40 дм<sup>3</sup>, частота обертання лопатей – 104–1 977 об/хв, частота обертання чаші – 14–88 об/хв, кут нахилу чаші від горизонталі – 0–60°.

Для проведення досліджень встановлювали наступні параметри бетонозмішувача. Чашу бетонозмішувача розташовували під кутом 60° від горизонталі. Задавали частоту обертання

чаші 29 об/хв, а частоту обертання лопатей – 450 об/хв.

Так як було прийнято досліджувати вплив часу перемішування бетонної суміші на якість бетону, то проводили 4 заміси с однаковим дозуванням компонентів, але час перемішування суміші приймали різним – 480, 300, 180 та 90 секунд.

Використовували склад оптимальної бетонної суміші який був встановлений в результаті пробних замісів, який складався з: щебіню фракції 10–20 мм, піска річкового з модулем крупності  $M_{кр} = 1,7$ , цементу М400 та води.

Технологія виготовлення суміші була обрана наступною. Спочатку в бетонозмішувач додавали сипучі компоненти в послідовності пісок, щебінь, цемент і цю суміш перемішували протягом 1

хв. Потім при обертанні чаші бетонозмішувача додавали необхідну кількість рідини і всю суміш перемішували на протязі 90–480 с до отримання однорідної маси.

Так як перед проведенням досліджень впливу часу змішування суміші були підібрані пропорції В/Ц, то під час експерименту не було необхідності зупиняти процес перемішування.

Виготовлену в бетонозмішувачі суміш видавали в металеву ємність і подавали до міста укладки. Суміш укладали в металеві форми, розмірами 100×100×100 мм та 100×100×400 мм, які попередньо були встановлені на піддонах безпосередньо біля бетонозмішувача. Усього в результаті 4-х замісів було виготовлено 24 зразки-куби (чотири склади по 6 зразків, склади позначені № 1–4) та 18 зразків-призм.

Бетонну суміш засипали в форми і формували методом ручного ущільнення. Під час виготовлення кожної партії бетонних зразків відслідковувалась температура і вологість повітря. Температура повітря під час виготовлення сумішей складала  $t = 18,0\text{--}18,8\text{ }^{\circ}\text{C}$  при вологості повітря 60–63 %.

Усі бетонні зразки 4-х партій зберігались в умовах лабораторії на протязі 28 діб при температурі повітря 18–22 °C і вологості 91–93%.

Міцність бетону на стиск в МПа визначали в лабораторних умовах на зразках-кубах згідно нормативного документу [8]. Зразки-куби розмірами 100×100×100 мм доводили до руйнування на пресі П-125. Швидкість підйому навантаження складала 4 кН за секунду.

Межу міцності на стиск визначали шляхом відношення руйнівного навантаження до площі поперечного перерізу зразка.

Густину зразків в кг/м<sup>3</sup> визначали згідно нормативного документу [9] шляхом їх контрольного зважування та відношення цієї ваги до об'єму зразка. Об'єм зразка визначали шляхом його розмітки та вимірювання розмірів в характерних перерізах.

Після випробування кожної партії зразків-кубів оцінювали характер їх руйнування і структуру внутрішньої поверхні бетону

В таблиці 1 наведені результати визначення міцності та густини бетонних зразків, виготовлених при часі перемішування суміші 180 с.

На рисунках 2 і 3 наведені характер руйнування зразків-кубів складу № 3, виготовлених при часі перемішування суміші 180 с.

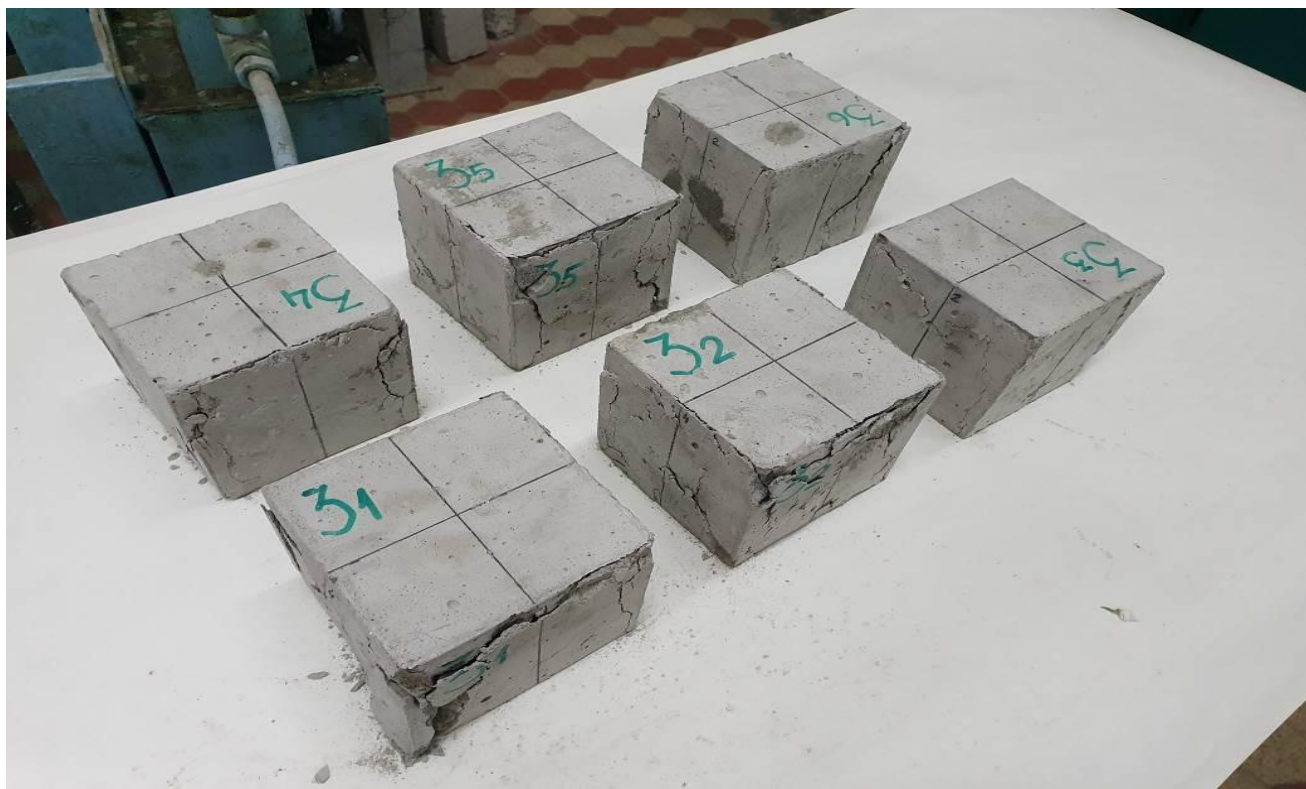
Таблиця 1

**Результати визначення міцності та густини бетонних зразків розмірами 100×100×100 мм, виготовлених при часі перемішування бетонної суміші 180 с**

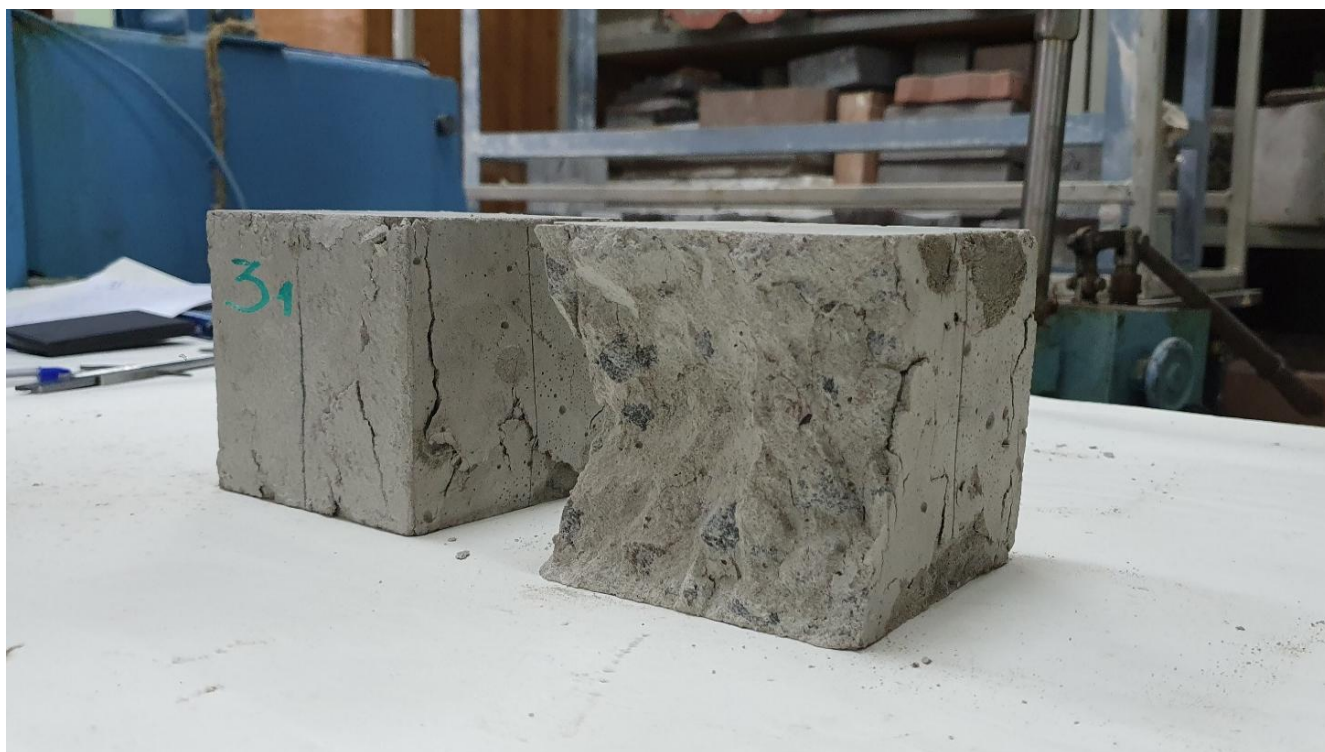
| Маркування зразків | Маса зразка, $m$ , г | Довжина зразка, $a_{\text{ср}}$ , мм | Ширина зразка, $b_{\text{ср}}$ , мм | Висота зразка, $h_{\text{ср}}$ , мм | Площа зразка, $S$ , см <sup>2</sup> | Об'єм зразка, $V$ , см <sup>3</sup> | Густина, $\rho$ , г/см <sup>3</sup> | Руйнівне зусилля $P$ , кН | Міцність на стиск, $R_m$ , МПа |
|--------------------|----------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| З <sub>1</sub>     | 2 272                | 99,58                                | 100,3                               | 99,99                               | 99,87                               | 998,61                              | 2,275                               | 250,3                     | 25,06                          |
| З <sub>2</sub>     | 2 302                | 100,05                               | 99,9                                | 100,19                              | 99,95                               | 1001,37                             | 2,299                               | 240,72                    | 24,08                          |
| З <sub>3</sub>     | 2 253                | 99,85                                | 99,9                                | 99,81                               | 99,75                               | 995,63                              | 2,263                               | 240,43                    | 24,10                          |
| З <sub>4</sub>     | 2 268                | 100,18                               | 99,45                               | 100,03                              | 99,62                               | 996,49                              | 2,276                               | 254,87                    | 25,58                          |
| З <sub>5</sub>     | 2 260                | 100,38                               | 99,45                               | 100,09                              | 99,82                               | 999,10                              | 2,262                               | 233,22                    | 23,36                          |
| З <sub>6</sub>     | 2 275                | 99,15                                | 100,225                             | 100,41                              | 99,37                               | 997,83                              | 2,280                               | 227,5                     | 22,89                          |

*\*Примітка.* Жовтим кольором виділені бетонні зразки-куби з найменшою міцністю, які не враховуються при розрахунку загальної міцності бетону.





*Рис. 2. Загальний вигляд бетонних зразків складу №3 ( час перемішування суміші 180 с) після руйнування*



*Рис. 3. Типовий характер руйнування і структура внутрішньої поверхні зразків складу № 3*

В складі бетону № 1 (час перемішування суміші 480 с) один зразок мав нетиповий характер руйнування, в складах бетону № 2–4 (час перемішування суміші 300, 180 і

90 с відповідно) усі зразки мали типовий характер руйнування

Структура внутрішньої поверхні зразків складів № 1–4 свідчить про рівномірне розташування зв'язки між зернами

заповнювача. Однак при цьому слід виділити підвищену пористість усіх зв'язок.

Результати випробувань міцності зразків-кубів розмірами  $100 \times 100 \times 100$  мм дозволили нам систематизувати залежність показників міцності та густини конструкційних бетонів. Оскільки при випробуванні міцності зразків-кубів складу № 1 серед шести зразків маємо один з нетиповим характер руйнування, то згідно [8, п. 8.4] міцність зразків бетону з нетиповим руйнуванням в серії зразків не враховується. А в серії зразків-кубів складів

№ 2–4, які мають типовий характер руйнування, при визначенні показників міцності нормативний документ [8, п. 8.4] передбачає з шістьох та випробувань зразків до розрахунку міцності брати лише чотири самі більші. Середня густина усіх складів визначається аналогічно міцності - за густиною тих зразків, що прийняті до розрахунку міцності. На рисунках 4 і 5 представлені діаграми залежності міцності бетону, визначеної на зразках-кубах розмірами  $100 \times 100 \times 100$  мм, від часу перемішування бетонної суміші.

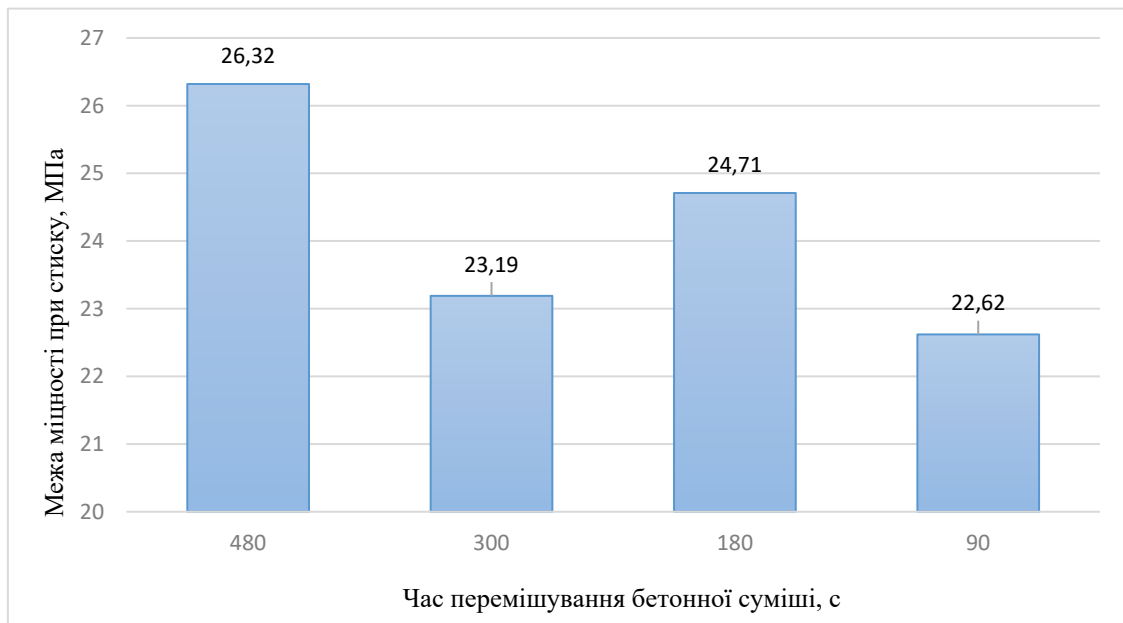


Рис. 4. Діаграми залежності міцності бетону від часу перемішування бетонної суміші

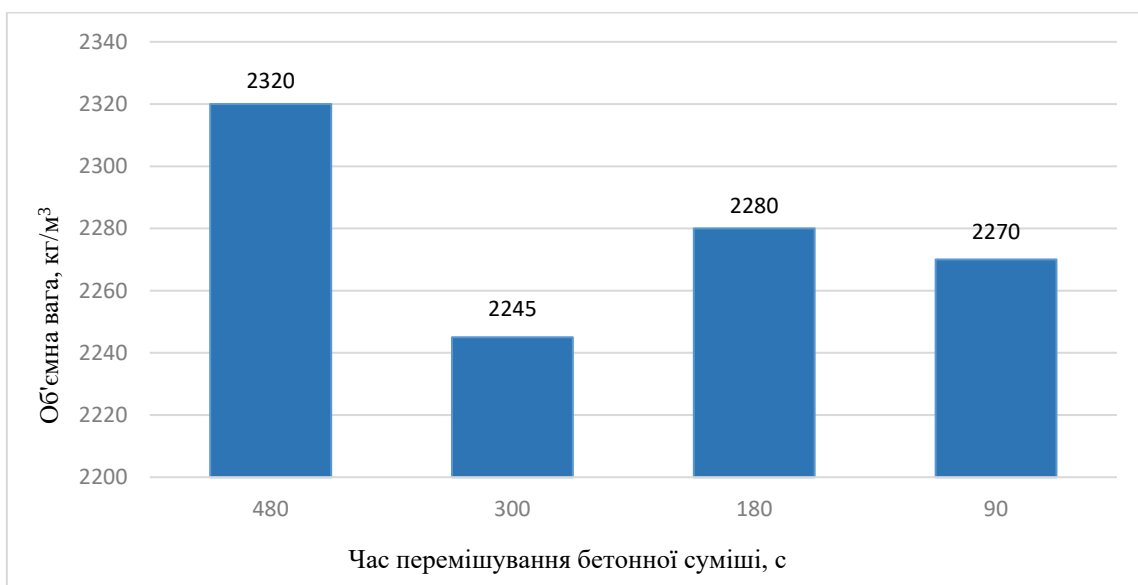


Рис. 5. Діаграми залежності міцності бетону від часу перемішування бетонної суміші



Як видно з рисунку 4, найбільшу міцність при стиску, яка дорівнює 26,32 МПа, має бетон складу № 1 при часі перемішування суміші 480 секунд. При часі перемішування суміші 180 с міцність бетону складу № 3 зменшується до 24,71 МПа. А міцність бетону складів № 2 і 4 при часі перемішування суміші 300 і 90 с відрізняється незначно і дорівнює 23,19 і 22,62 МПа відповідно.

Такий характер розподілу міцності на пряму залежить від середньої густини бетонів (рис. 5). На нашу думку, при підвищеному часі перемішування (480 с) відбувається повне ущільнення компонентів суміші. При зменшенні часу змішування до 300 с відбувається зменшення міцності з одночасним зменшенням середньої густини бетону. Далі характер зміни міцності і густини бетонів не можна пояснити прямо пропорційною залежністю міцність – густина, так як на діаграмах залежності з'являється пік підвищення міцності при часі перемішування суміші 180 с. Тому для підтвердження, або спростування отриманого характеру зміни міцності на стиск необхідно провести випробування призмової міцності бетонів шляхом

дослідження міцності зразків - призм розмірами 100×100×400 мм.

Для узагальнення результатів визначення міцності бетону, показники отриманих результатів випробувань кубів з розмірами ребра 100 мм повинні бути приведені до міцності стандартних зразків-кубів з розміром ребра 150 мм. В цьому випадку, отримані показники міцності зразків-кубів з розміром ребра 100 мм повинні бути помножені на масштабний коефіцієнт  $\alpha$ , який згідно [8, табл. 5] дорівнює 0,95.

Окрім цього, оскільки кількість зразків - кубів для випробування в кожному складі бетону дорівнювала 6-ти, то це дало можливість призвести математичну обробку результатів досліджень, визначити коефіцієнт варіації за міцністю бетону на стиск та клас бетону.

Визначений в результаті досліджень клас бетону порівнювали з прийнятим в нормах на проектування [10, с. 19–20, 11, табл. 3.1] коефіцієнтом варіації, якій дорівнює 13,5 %.

Загальні результати визначення міцності, середньої густини та класу конструкційного бетону наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Загальні результати визначення міцності, середньої густини та класу конструкційного бетону

| № п/п | Показники                                                                                | Номер складу                         |                 |                 |                 |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|       |                                                                                          | Час перемішування бетонної суміші, с |                 |                 |                 |
|       |                                                                                          | 1<br>480                             | 2<br>300        | 3<br>180        | 4<br>90         |
| 1     | Межа міцності при стиску, $R(F_{c,cube}) \cdot 0,95$ , МПа                               | 25,0                                 | 22,03           | 23,47           | 21,49           |
| 2     | Середня густина, $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>                                              | 2 320                                | 2 245           | 2 280           | 2 270           |
| 3     | Визначений коефіцієнт варіації за міцністю, $V_m$ , %                                    | 14,5                                 | 4,18            | 4,22            | 2,86            |
| 4     | Клас бетону за міцністю на стиск згідно визначеного коефіцієнта варіації $V_m$ , %       | C16/20<br>(B20)                      | C16/20<br>(B20) | C16/20<br>(B20) | C16/20<br>(B20) |
| 5     | Клас бетону за міцністю на стиск згідно стандартного коефіцієнта варіації $V_m = 13,5$ % | C16/20<br>(B20)                      | C12/15<br>(B15) | C12/15<br>(B15) | C12/15<br>(B15) |

Як видно з таблиці 2, середня міцність на стиск бетонних зразків-кубів дорівнює 21,49–25,0 МПа. При цьому, найбільшу міцність 25,0 МПа має бетон складу № 1 при часі перемішування суміші 480 с, а найменшу – 21,49 МПа має бетон складу № 4 при часі перемішування суміші 90 с.

Найбільший коефіцієнт варіації міцності бетону при стиску 14,5 %, який визначений на партії з 6 зразків має бетон складу № 1 при часі перемішування суміші 480 с, що більше ніж прийнятий в нормах на проектування [10, с. 19–20, 11, табл. 3.1] коефіцієнт варіації, якій дорівнює 13,5 %. Коефіцієнти варіації міцності бетону складів

№ 2–4 при часі перемішування суміші 300, 180 і 90 с знаходяться в межах від 2,86 до 4,22 %, що значно менше прийнятого в нормах на проектування коефіцієнта варіації, якій дорівнює 13,5 %.

Згідно отриманих коефіцієнтів варіації міцності бетону, шляхом розрахунку встановлювали фактичні класи бетону, отримані при різних часах перемішування суміші. В нашому випадку усі класи бетону виявились однаковими і становили С16/20 (В20).

Оскільки, при розрахунку класу бетону, з урахуванням отриманого на основі досліджень зразків-кубів коефіцієнту варіації за міцністю, всі класи бетону виявились однаковими, то досліджували призмове міцність бетонів шляхом випробування зразків-призм розмірами 100×100×400 мм. Випробування зразків-призм проводили згідно з рекомендаціями

нормативного документу [12] Усього було випробувано 18 зразків-призм: по 4 зразки у складів бетонів № 1 і 2 , виготовлених при часі перемішування суміші 480 і 300 с та по 5 зразків у складів бетонів № 3 і 4, виготовлених при часі перемішування суміші 180 і 90 с.

Зразки-призми розмірами 100×100×400 мм доводили до руйнування на пресі П-125 зі швидкістю підйому навантаження 4 кН за секунду. Призмове міцність на вісьовий стиск визначали шляхом відношення руйнівного навантаження до середньої площі поперечного перерізу зразка.

Після випробування кожної партії зразків-призм оцінювали характер їх руйнування по гранях На рисунку 6 наведений характер руйнування призми складу № 3 (3<sub>14</sub>), виготовленої при часі перемішування суміші 180 с.



Рис. 6. Характер руйнування бетонної призми складу №3 (3<sub>14</sub>), виготовленої при часі перемішування суміші 180 с, по гранях I-II і III-IV

Таблиця 3

#### Результати визначення призмової міцності та класу конструкційного бетону

| № п/п | Показники                                                      | Номер складу                         |                 |                 |                 |
|-------|----------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|       |                                                                | Час перемішування бетонної суміші, с |                 |                 |                 |
|       |                                                                | 1<br>480                             | 2<br>300        | 3<br>180        | 4<br>90         |
| 1     | Призмове міцність на вісьовий стиск, $f_{ck,prism}(R_b)$ , МПа | 25,67                                | 18,87           | 21,2            | 19,76           |
| 2     | Визначений коефіцієнт варіації за міцністю, $V_m$ , %          | 11,37                                | 8,28            | 9,44            | 10,0            |
| 3     | Клас бетону за міцністю на вісьовий стиск C(B)                 | C30/35<br>(B35)                      | C20/25<br>(B25) | C25/30<br>(B30) | C20/25<br>(B25) |

За результатами випробувань визначали середню призмову міцність зразків на вісьовий стиск. При визначенні середніх значень призмової міцності в серії зразків відбраковували аномальні (ті, що сильно відхиляються) результати випробувань.

Результати визначення призмової міцності та класу конструкційного бетону наведені в таблиці 3.

Як видно з таблиці 3 призмova міцність бетонних зразків розміром 100×100×400 мм на вісьовий стиск склала 18,87–25,67 МПа. Найбільші показники призмової міцності 25,67 МПа має бетон складу № 1 при часі перемішування суміші 480 с, а найменші – 18,87 МПа має бетон складу № 2 при часі перемішування суміші 300 с. Визначений за показниками призмової міцності клас бетону склав: C30/35 (B35) у бетона складу № 1 та C25/30 (B30) у бетона складу № 3. У бетонів складів № 2 і 4 при часі перемішування суміші 300 і 90 с клас бетону однаковий і дорівнює C20/25(B25). Визначені за призмовою міцністю коефіцієнти варіації міцності бетон знаходяться в межах 8,28–11,37 %, що менше прийнятого в нормах на проектування коефіцієнта варіації 13,5 %, дозволяють говорити про достовірність отриманих результатів досліджень.

## Висновки

Встановлено, що одним з основних технологічних факторів, які значно впливають на якість бетонних сумішей є тривалість перемішування бетонної суміші. Проведені дослідження кубікової та призмової міцності конструкційних бетонів, отриманих при часі перемішування суміші від 90 до 480 с. Класи бетону, визначені за результатами кубікової міцності, отримані на основі вирахування коефіцієнтів варіації міцності при різних часах перемішування суміші, виявились однаковими і склали C16/20 (B20). Класи бетону, визначені за результатами призмової міцності, виявились різними, при цьому найбільші показники класу бетону C30/35 (B35) і C25/30 (B30) виявились у бетонів складів № 1 і 3 при часі перемішування суміші 480 і 180 с відповідно. В цьому випадку, отриманий результат перевищення призмової міцності над кубіковою міцністю не є типовим, а підтвердження або спростування визначених класів бетону за міцністю можна отримати в результаті дослідження деформативних характеристик бетонів шляхом визначення їх модуля пружності.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Баженов Ю. М. Технология бетона : учеб. пособ. для технол. спец. строит. вузов. 2-е изд перераб. Москва : Высшая школа, 1987. 415 с.
2. Невиль А. М. Время перемешивания. Свойства бетона. Москва : Стройиздат, 1972. С. 144–147.
3. Paul E. L., Atiemo-Obeng V. A., Kresta S. M. (rec.). Handbook of Industrial Mixing : Science and Practice. Hoboken, NJ : Wiley-Interscience, 2004. 1422 p.
4. ДСТУ Б В.2.7-96-2000 (ГОСТ 7473-94). Суміші бетонні. Технічні умови. [Чинні від 2000.07.01]. Вид. офіц. Київ : Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України, 2000. 20 с. Державний стандарт України. URL : [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=4671](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=4671)
5. Регламент з приготування високорухливих бетонних сумішей для ремонту тонкостінних гідротехнічних споруд. Затверджено наказом Держводгоспу 29.01.2008, № 12. Київ, 2008.
6. Zhou M., Li H., Ma G., Tan J. Effect of mixing methods on the properties of fresh and hardened concrete. Construction and Building Materials. 2016. Vol. 104. Pp. 1–7.
7. ДСТУ-Н Б В.2.6.-203:2015. Настанова з виконання робіт при виготовленні та монтажі будівельних конструкцій. [Чинні від 2016.04.01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2015. 96 с. Державний стандарт України. URL : [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=63372](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=63372)
8. ДСТУ Б В.2.7.-214:2009. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками. [Чинні від 2010.09.01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 43 с. Державний стандарт України. URL : [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=25943](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=25943)
9. ДСТУ Б В.2.7.-170:2008. Бетони. Методи визначення середньої густини, вологості, водопоглинення, пористості та водонепроникнення. [Чинні від 2009.07.01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. 38 с. Державний Стандарт України. URL : <https://surl.li/lpouyk>

10. Байков В. Н., Сигалов Э. Е. Железобетонные конструкции. Общий курс. Москва : Стройиздат, 1991. 767 с.

11. ДБН В.2.6-98:2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. [Чинні від 2020.06.01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. 71 с. Державний стандарт України. URL : [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=26677](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=26677)

12. ДСТУ Б В.2.7.-217:2009. Бетони. Методи визначення призмової міцності, модуля пружності і коефіцієнта Пуассона. [Чинні від 2010.09.01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 16 с. Державний Стандарт України. URL : [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=26677](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=26677)

## REFERENCES

1. Bazhenov Yu.M. *Tekhnologiya betona : ucheb. posobiye dlya tekhnol. spets. stroit. vuzov. 2-ye izd pererab.* [Concrete Technology : textbook allowance for technol. special build universities, 2nd edition revised]. Moscow : Higher School Publ., 1987, 415 p. (in Russian).

2. Neville A.M. *Vremya peremeshvaniya. Svoystva betona* [Mixture time. Properties of concrete]. Moscow : Stroyizdat Publ., 1972, pp. 144–147. (in Russian).

3. Paul E.L., Atiemo-Obeng V.A. and Kresta S.M. (rec.). *Handbook of Industrial Mixing: Science and Practice*. Hoboken, NJ : Wiley-Interscience Publ., 2004, 1422 p.

4. DSTU B V.2.7-96-2000 (HOST 7473-94). *Sumishi betonni. Tekhnichni umovy. Chynni vid 2000.07.01. Vyd. ofits.* Kyiv.: *Derzhavnyy komitet budivnytstva, arkhitektury ta zhytlovoyi polityky Ukrayiny* [DSTU B V.2.7-96-2000 (GOST 7473-94). Concrete mixtures. Technical conditions. Valid from 2000.07.01. Official edition. Kyiv : State Committee for Construction, Architecture and Housing Policy of Ukraine]. 2000, 20 p. URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=4671](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=4671) (in Ukrainian).

5. *Rehlement z pryhotuvannya vysokorukhlyvykh betonnykh sumishey dlya remontu tonkostinnykh hidrotekhnichnykh sporud* [Regulations for the preparation of high-mobility concrete mixtures for the repair of thin-walled hydraulic structures]. Kyiv : Approved by Order of the State Water Resources and Water Resources Administration of 01/29/2008, no. 12. (in Ukrainian).

6. Zhou M., Li H., Ma G. and Tan J. Effect of mixing methods on the properties of fresh and hardened concrete. *Construction and Building Materials*. 2016, vol. 104, pp. 1–7.

7. DSTU-N B V.2.6-203:2015. *Nastanova z vykonannya robit pry vyhotovlenni ta montazhi budivel'nykh konstruktsiy. chynni vid 2016.04.01. Vyd. ofits.* [DSTU-N B V.2.6-203:2015. Instructions for the performance of work during the manufacture and installation of building structures. Valid from 2016.04.01. Official edition]. Kyiv : Minregion of Ukraine, 2015, 96 p. URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=63372](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=63372) (in Ukrainian).

8. DSTU B V.2.7.-214:2009. *Betony. Metody vyznachennya mitsnosti za kontrol'nyy zrazkamy. chynni vid 2010.09.01. Vyd. ofits.* [DSTU B V.2.7.-214:2009. Concrete. Methods for determining strength by control samples. Valid from 2010.09.01. Official edition]. Kyiv : Minregionstroy of Ukraine, 2010, 43 p. URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=25943](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=25943) (in Ukrainian).

9. DSTU B V.2.7.-170:2008. *Betony. Metody vyznachennya seredn'oyi hustyny, volohosti, vodopohlynennya, porystosti ta vodonepronyknennya. chynni vid 2009.07.01. Vyd. ofits.* [DSTU B V.2.7.-170:2008. Concretes. Methods for determining average density, humidity, water absorption, porosity and water permeability. Valid from 2009.07.01. Official edition]. Kyiv : Minregionalbud of Ukraine, 2009, 38 p. URL: <https://surl.li/lpovyk> (in Ukrainian).

10. Baikov V.N. and Sigalov E.Ye. *Zhelezobetonnyye konstruktsii. Obshchiy kurs* [Reinforced concrete structures. General course]. Moscow : Stroyizdat Publ., 1991, 767 p. (in Russian).

11. ДБН В.2.6-98:2009. *Konstruktsiyi budynkiv i sporud. Betonni ta zalizobetonni konstruktsiyi. Osnovni polozhennya. chynni vid 2020.06.01. Vyd. ofits.* [DBN V.2.6-98:2009. Structures of buildings and structures. Concrete and reinforced concrete structures. Basic provisions. Valid from 2020.06.01. Official edition]. Kyiv : Minregionalbud of Ukraine, 2011, 71 p. URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=26677](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=26677) (in Ukrainian).

12. DSTU B V.2.7.-217:2009. *Betony. Metody vyznachennya pryzmovoyi mitsnosti, modulya pruzhnosti i koefitsiyenta Puassona. Chynni vid 2010.09.01. Vyd. ofits.* [DSTU B V.2.7.-217:2009. Concretes. Methods for determining prismatic strength, elastic modulus and Poisson's ratio. Valid from 2010.09.01. Official edition]. Kyiv : Minregionalbud of Ukraine, 2010, 16 p. URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=26677](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=26677) (in Ukrainian).

Надійшла до редакції: 23.03.2025.

УДК 691.322

DOI: 10.30838/UJCEA.2312.270425.92.1165

## ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШОГО ЗАСТОСУВАННЯ ЦЕГЛИ, ВІДБРАНОЇ З БУДІВЕЛЬ І СПОРУД, ПОШКОДЖЕНИХ В РЕЗУЛЬТАТІ ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ

КОНОПЛЯНИК О. Ю.<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доц.,

КОТОВ М. А.<sup>2\*</sup>, канд. техн. наук, доц.,

ЛЯСОТА О. В.<sup>3</sup>, здобувач,

ОЛЕЙНИКОВ В. М.<sup>4</sup>, студ.

<sup>1</sup> 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 (067) 762-24-55, e-mail: [konoplianiuk.alexander@gmail.com](mailto:konoplianiuk.alexander@gmail.com), ORCID ID: 0000-0003-4664-8809

<sup>2\*</sup> 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, e-mail: [38kotokoto38@gmail.com](mailto:38kotokoto38@gmail.com), ORCID ID: 0000-0003-0233-0663

<sup>3</sup> 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 (096) 483-03-73, e-mail: [lyasota198422@gmail.com](mailto:lyasota198422@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-4269-2434

<sup>4</sup> 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 (096) 483-03-73, e-mail: [valeraleynikov2005@gmail.com](mailto:valeraleynikov2005@gmail.com)

**Анотація.** *Вступ.* В теперішній час в будівельній галузі актуальним питанням є використання вторинних відходів, які утворюються в процесі життєдіяльності людини [1] або отриманих в результаті подрібнення будівельних виробів і конструкцій, пошкоджених в результаті військових дій, стихійних лих та знесення існуючих будівель і споруд [2]. Таким напрямом діяльності є рециклінг, тобто один з варіантів переробки відходів. Одним із способів реалізації даної тематики є отримання складів бетонів шляхом використання вторинних заповнювачів, отриманих в результаті подрібнення будівельних виробів і конструкцій, пошкоджених в результаті військових дій, стихійних лих або знесення існуючих будівель і споруд. *Аналіз сучасного стану* розробки і дослідження бетонів показав, що на основі подрібнення будівельних виробів і конструкцій з бетону, залізобетону, цегли, скла та ін, що були пошкоджені в результаті військових дій, стихійних лих або знесення існуючих будівель і споруд, можуть бути отримані заповнювачі для повторного використання. Окрім цього, застосування вторинного заповнювача – це важлива умова для збереження довкілля і зниження навантаження на природні ресурси. *Аналіз публікацій* показав, що конструктивні бетони можуть бути отримані на вторинних заповнювачах, подрібнених з матеріалу конструкцій, пошкоджених в результаті військових дій, стихійних лих або знесення існуючих будівель і споруд. Відомо використання вторинного бетонного заповнювача для отримання конструкційних бетонів [3; 4] де автори стверджують, що за умови використання якісного та добре відсортованого переробленого заповнювача можна отримати бетони з необхідною міцністю. Однак при цьому відмічається, що вузьким місцем при застосуванні вторинних заповнювачів є неоднорідність структури заповнювача, яке двокomпонентною і складається з щільного первинного заповнювача і пористого залишкового цементного розчину. При такій структурі вторинного заповнювача первинний заповнювач і залишковий цементний розчин можуть працювати і окремо, особливо під дією періодичного зволоження, низьких та високих температур. В літературних джерелах мають місце відомості про використання в якості заповнювача склобою об'ємною насипною вагою 700 кг/м<sup>3</sup> для виробництва бетонів [5]. Однак широке застосування склобою стримується через економічну складову, а саме, що вторинна переробка склобою більш ефективна для виготовлення нових виробів на основі скла. Відомо застосування в складах бетонів вторинного заповнювача, подрібненого з глиняної звичайної та силікатної цегли [6; 7]. В цьому випадку такі заповнювачі треба вважати однокомпонентними, так як елементи кладки, з яких відібрана вказана цегла, вміщують в себе мінімальну кількість розчину зі швів і здебільше цей розчин відпадає від заповнювача в процесі подрібнення. Заповнювачі з подрібненої цегли мають підвищену поверхневу пористість і тріщиностійкість [7], яка суттєво впливає на підсос вологи з цементного тіста. Однак, цей ефект підвищує зчеплення між цементним тістом і заповнювачем, а тому руйнування бетону на основі подрібненого заповнювача з цегли відбувається на відміну від бетону на заповнювачі, отриманого в результаті подрібнення бетону, не по контакту заповнювач-цемент. *Мета роботи* полягає в визначенні можливості використання в складах бетонів заповнювача, отриманого в результаті подрібнення цегли глиняної звичайної, пошкодженої в результаті руйнування будинків і споруд під час військових дій. *Висновки.*

Розглянута можливість використання в складах бетонів заповнювача, отриманого в результаті подрібнення цегли глиняної звичайної пошкодженої в результаті руйнування будинку під час військових дій. В результаті дослідження цегли в лабораторних умовах встановлено, що вона відповідає по міцності марки М100 і має середню густину  $1\,740\text{ кг/м}^3$ . Така цегла водостійка, так як має коефіцієнт розм'якшення 0,84, а її водопоглинення складає 16,38 %. Вторинний заповнювач, який отриманий шляхом подрібнення цегли глиняної звичайної має об'ємну насипну густину  $935\text{ кг/м}^3$  і по фракційному складу його можна поділити на дві частини: великий – фракції 5–25 мм в кількості 65,8 % і дрібний – фракції 0,16–5 мм в кількості 16,0 %. На основі отриманих характеристик цегли глиняної звичайної і вторинного заповнювача подрібненого з цієї цегли, будуть розроблені склади конструкційних бетонів для застосування при будівництві будівель і споруд.

**Ключові слова:** рециклінг; цегла; вторинний заповнювач; випробування цегли; бетон

## PROSPECTS FOR FURTHER APPLICATION OF BRICKS SELECTED FROM BUILDINGS AND STRUCTURES DAMAGED AS A RESULT OF MILITARY ACTIONS

KONOPLIANYK O.Yu.<sup>1</sup>, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*,  
KOTOV M.A.<sup>2\*</sup>, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*,  
LYASOTA O.V.<sup>3</sup>, *Applicant*,  
OLEYNIKOV V.M.<sup>4</sup>, *Stud.*

<sup>1</sup> 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 (067) 762-24-55, e-mail: [konoplianyk.alexander@gmail.com](mailto:konoplianyk.alexander@gmail.com), ORCID ID: 0000-0003-4664-8809

<sup>2\*</sup> 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, e-mail: [38kotokoto38@gmail.com](mailto:38kotokoto38@gmail.com), ORCID ID: 0000-0003-0233-0663

<sup>3</sup> 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 (096) 483-03-73, e-mail: [lyasota198422@gmail.com](mailto:lyasota198422@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-4269-2434

<sup>4</sup> 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 (096) 483-03-73, e-mail: [valeraleynikov2005@gmail.com](mailto:valeraleynikov2005@gmail.com)

**Abstract. Introduction.** Currently, the construction industry is a topical issue in the use of secondary waste generated in the process of human life [1] or obtained as a result of crushing construction products and structures damaged as a result of military operations, natural disasters and demolition of existing buildings and structures [2]. Such a direction of activity is recycling, that is, one of the options for processing waste. One of the ways to implement this topic is to obtain concrete compositions by using secondary aggregates obtained as a result of crushing construction products and structures damaged as a result of military operations, natural disasters or demolition of existing buildings and structures. **Analysis of the current state** of development and research of concretes showed that aggregates for reuse can be obtained based on crushing construction products and structures made of concrete, reinforced concrete, brick, glass, etc., which were damaged as a result of military operations, natural disasters or demolition of existing buildings and structures. In addition, the use of secondary aggregate is an important condition for preserving the environment and reducing the burden on natural resources. **Analysis of publications** has shown that structural concrete can be obtained on secondary aggregates, crushed from the material of structures damaged as a result of military operations, natural disasters or demolition of existing buildings and structures. The use of secondary concrete aggregate for obtaining structural concrete is known [3; 4] where the authors claim that if high-quality and well-sorted recycled aggregate is used, concrete with the required strength can be obtained. However, it is noted that the bottleneck in the use of secondary aggregates is the heterogeneity of the aggregate structure, which is two-component and consists of dense primary aggregate and porous residual cement mortar. With such a structure of the secondary aggregate, the primary aggregate and residual cement mortar can also work separately, especially under the influence of periodic moistening, low and high temperatures. In the literature there is information about the use of cullet with a bulk density of  $700\text{ kg/m}^3$  as an aggregate for the production of concrete [5]. However, the widespread use of cullet is restrained by the economic component, namely, that the secondary processing of cullet is more effective for the production of new glass-based products. It is known to use secondary aggregate crushed from clay ordinary and silicate bricks in concrete compositions [6; 7]. In this case, such aggregates should be considered single-component, since the masonry elements from which the specified brick is selected contain a minimum amount of mortar from the joints and most of this mortar disappears from the aggregate during the grinding process. Aggregates made of crushed brick have increased surface

porosity and crack resistance [7], which significantly affects the suction of moisture from the cement dough. However, this effect increases the adhesion between the cement paste and the aggregate, and therefore the destruction of concrete based on crushed brick aggregate occurs, unlike concrete on aggregate obtained as a result of crushing concrete, not by the aggregate-cement contact. **The purpose of the work** is to determine the possibility of using in concrete compositions the aggregate obtained as a result of crushing ordinary clay bricks damaged as a result of the destruction of buildings and structures during military operations. **Conclusions.** The possibility of using in concrete compositions the aggregate obtained as a result of crushing ordinary clay bricks damaged as a result of the destruction of a building during military operations was considered. As a result of the study of the brick in laboratory conditions, it was established that it corresponds to the M100 brand in strength and has an average density of 1 740 kg/m<sup>2</sup>. Such a brick is waterproof, as it has a softening coefficient of 0.84, and its water absorption is 16.38 %. The secondary aggregate, which is obtained by crushing ordinary clay bricks, has a bulk density of 935 kg/m<sup>3</sup> and can be divided into two parts by fractional composition: large – fractions of 5–25 mm in the amount of 65.8 % and fine – fractions of 0.16–5 mm in the amount of 16.0 %. Based on the obtained characteristics of ordinary clay bricks and secondary aggregate crushed from this brick, structural concrete compositions will be developed for use in the construction of buildings and structures.

**Keywords:** recycling; brick; secondary aggregate; brick testing; concrete

**Постановка проблеми.** В теперішній час в будівельній галузі актуальним питанням є використання вторинних відходів, які утворюються в процесі життєдіяльності людини [1] або отриманих в результаті подрібнення будівельних виробів і конструкцій, пошкоджених в результаті військових дій, стихійних лих та знесення існуючих будівель і споруд [2]. Таким напрямом діяльності є рециклінг, тобто один з варіантів переробки відходів. Одним із способів реалізації даної тематики є отримання складів бетонів шляхом використання вторинних заповнювачів, отриманих в результаті подрібнення будівельних виробів і конструкцій, пошкоджених в результаті військових дій, стихійних лих або знесення існуючих будівель і споруд.

**Аналіз сучасного стану** розробки і дослідження бетонів показав, що на основі подрібнення будівельних виробів і конструкцій з бетону, залізобетону, цегли, скла тощо, що були пошкоджені в результаті військових дій, стихійних лих або знесення існуючих будівель і споруд, можуть бути отримані заповнювачі для повторного використання. Окрім цього, застосування вторинного заповнювача – це важлива умова для збереження довкілля і зниження навантаження на природні ресурси.

**Аналіз публікацій** показав, що конструктивні бетони можуть бути отримані на вторинних заповнювачах, подрібнених з матеріалу конструкцій, пошкоджених в

результаті військових дій, стихійних лих або знесення існуючих будівель і споруд. Відомо використання вторинного бетонного заповнювача для отримання конструкційних бетонів [3; 4] де автори стверджують, що за умови використання якісного та добре відсортованого переробленого заповнювача можна отримати бетони з необхідною міцністю. Однак при цьому відмічається, що вузьким місцем при застосуванні вторинних заповнювачів є неоднорідність структури заповнювача, яка є двокомпонентною і складається з щільного первинного заповнювача і пористого залишкового цементного розчину. При такій структурі вторинного заповнювача первинний заповнювач і залишковий цементний розчин можуть працювати і окремо, особливо під дією періодичного зволоження, низьких та високих температур. В літературних джерелах мають місце відомості про використання в якості заповнювача склобою об'ємною насипною вагою 700 кг/м<sup>3</sup> для виробництва бетонів [5]. Однак широке застосування склобою стримується через економічну складову, а саме, що вторинна переробка склобою більш ефективна для виготовлення нових виробів на основі скла. Відомо застосування в складах бетонів вторинного заповнювача, подрібненого з глиняної звичайної та силікатної цегли [6; 7]. В цьому випадку такі заповнювачі треба вважати однокомпонентними, так як елементи кладки, з яких відібрана вказана цегла, вміщають в себе мінімальну кількість розчину зі швів і здебільше цей розчин



відпадає від заповнювача в процесі подрібнення. Заповнювачі з подрібненої цегли мають підвищену поверхневу пористість і тріщиностійкість [7], яка суттєво впливає на підсос води з цементного тіста. Однак, цей ефект підвищує зчеплення між цементним тістом і заповнювачем, а тому руйнування бетону на основі подрібненого заповнювача з цегли відбувається на відміну від бетону на заповнювачі, отриманого в результаті подрібнення бетону, не по контакту заповнювач-цемент.

**Мета роботи** – визначення можливості використання в складах бетонів заповнювача, отриманого в результаті подрібнення цегли глиняної звичайної, пошкодженої в результаті руйнування будинків і споруд під час військових дій.

**Виклад матеріалу.** Для визначення можливості використання в складах бетону вторинного заповнювача, відбирали цеглу глиняну звичайну з будівлі, яка була зведена в 1962 році. Таким чином, вік цегли під час дослідження складав 62 роки. При дослідженні такої цегли враховували те, що за такий довгий період експлуатації її фазовий склад сформувався повністю, а характеристики отриманого в результаті подрібнення заповнювача будуть стабільні на протязі подальшої експлуатації в складах бетону. Враховували також і те, що в результаті подрібнення цегли утворюються однокомпонентний заповнювач на відміну від подрібнення бетону, коли утворюються двокомпонентний заповнювач, який складається з первинного щебеню та залишкового на ньому розчину.

Згідно поставленої мети дослідження проводили в два етапи. На першому етапі визначали основні фізико-механічні характеристики цегли глиняної звичайної, а на другому етапі характеристики заповнювача, якій був подрібнений з цієї цегли.

На першому етапі досліджень в умовах учбово-дослідницької лабораторії кафедри залізобетонних і кам'яних конструкцій ННІ Придніпровська державна академія

будівництва та архітектури визначали міцність цегли глиняної звичайної на згин і стиск у висушеному та насиченому водою стані. Визначення міцності цегли на згин у висушеному стані призводили на 6 цеглинах, а в насиченому водою стані – на 4 цеглинах. Після випробування міцності цегли в насиченому водою стані обчислювали її коефіцієнт розм'якшення.

Міцність цегли глиняної звичайної на згин та стиск визначали відповідно до вимог нормативного документа [8]. Перед проведенням випробувань вимірювали характерні розміри цегли. Зразки вимірювали із похибкою до 1 мм. Кожен лінійний розмір зразка обчислювали як середнє арифметичне значення результатів вимірювань двох середніх ліній протилежних поверхонь зразка.

Випробування цегли на згин проводили на пресі УММ-20 згідно зі схемою, яка наведена на рисунку 1. Для цього зразок встановлювали на двох опорах преса. Відстань між опорами (база вимірювання) складала 200 мм. Навантаження прикладали у середині прольоту через верхній опорний елемент. Середня швидкість навантаження на зразок складала 0,05 кН/с (5 кгс/с).

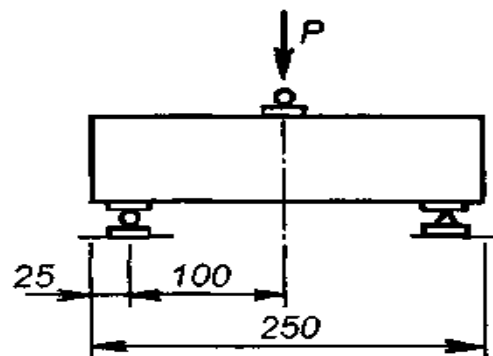


Рис. 1. Схема випробування цегли на згин

На рисунку 2 наведена фотофіксація випробування на згин цегли глиняної звичайної на пресі УММ-20.



Рис. 2. Випробування цегли глиняної звичайної на згин на пресі УММ-20

Міцність зразків на згин обчислювали за наступною формулою:

$$R_{зг} = \frac{1,5 \cdot P \cdot l}{b \cdot h^2}, \quad (1)$$

де  $P$  – руйнівне навантаження, кН;  
 $l$  – відстань між нижніми опорними

елементами, см;  $b$  – ширина зразка;  
 $h$  – висота зразка, см.

Межу міцності при згині зразків обчислювали в МПа (кгс/см<sup>2</sup>) як середнє арифметичне значення результатів випробувань встановленої кількості зразків. Результати визначення межі міцності цегли на згин наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Результати випробування міцності на згин цегли глиняної звичайної

| Маркування цегли | Маса зразка, $m$ , г | Розміри перерізу $l_{ср} \times b_{ср}$ , мм | Висота зразка $h_{ср}$ , мм | Площа зразка $S$ , см <sup>2</sup> | Об'єм зразка $V$ , см <sup>3</sup> | Густина, $\rho$ , г/см <sup>3</sup> | Руйнівне зусилля $P$ , кН | Міцність на згин $R_{зг}$ , МПа |
|------------------|----------------------|----------------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------|---------------------------------|
| 1                | 3 592,0              | 251,5×120                                    | 64,75                       | 301,8                              | 1 954,16                           | 1,838                               | 6,6                       | 3,94                            |
| 2                | 3 438,35             | 253,25×120                                   | 66,0                        | 303,9                              | 2 005,74                           | 1,714                               | 7,4                       | 4,23                            |
| 3                | 3 085,95             | 243×115                                      | 62,5                        | 279,45                             | 1 746,56                           | 1,767                               | 7,1                       | 4,55                            |
| 4                | 3 402,8              | 249×119                                      | 65,0                        | 296,31                             | 1 926,02                           | 1,767                               | 5,8                       | 3,46                            |
| 5                | 3 213,75             | 249×117,5                                    | 65,5                        | 292,58                             | 1 916,4                            | 1,677                               | 4,8                       | 2,86                            |
| 6                | 3 368,3              | 247,5×119                                    | 68,5                        | 294,53                             | 2 017,53                           | 1,670                               | 5,4                       | 2,90                            |
| Середнє значення |                      |                                              |                             |                                    |                                    | 1,739                               | –                         | 3,66                            |

Як видно з таблиці 1 міцність цегли на згин знаходиться в межах 2,86–4,55 МПа, а середня міцність на згин дорівнює 3,66 МПа. Густина цегли глиняної звичайної знаходиться в межах 1,67–1,838 г/см<sup>3</sup>, а середня густина складає 1,739 г/см<sup>3</sup>.

На половинках цегли, одержаних після випробування на згин візуально оцінювали якість їхньої внутрішньої поверхні. На рисунку 3 наведена структура внутрішньої поверхні половинок цегли, які утворилися в результаті випробування міцності на згин.



*Рис. 3. Структура внутрішньої поверхні зразків з цегли глиняної звичайної (№ 1–4) після випробування на згин*

Структура внутрішньої поверхні зразків не рівномірна. Різний кольор внутрішньої поверхні свідчить про не рівномірну температуру обжигу по товщині цегли, в

результаті якої утворилися шари різної густини. Утворення різних за густиною шарів по товщині цегли значно впливає на міцнісні характеристики матеріалу цегли.

Випробування цегли на стиск проводили на пресі П-125 на половинках цегли, які були отримані після випробувань на згин. Перед випробуванням опорні поверхні половинок цегли вирівнювали шліфуванням. Для випробування на стиск поверхні половинок цегли укладали постільними один на одного. Половинки розміщували поверхнями розділу в протилежні сторони.

Половинки цегли доводили до руйнування на пресі П-125 (рис. 4). Швидкість підйому навантаження складала 4 кН за секунду.



*Рис. 4. Випробування половинок цегли глиняної звичайної на стиск на пресі П-125*

Межу міцності на стиск визначали шляхом відношення руйнівного навантаження до площі поперечного перерізу складених зразків. Результати визначання міцності на стиск цегли глиняної звичайної наведені в таблиці 2.

Як видно з таблиці 2 міцність цегли на стиск, знаходиться в межах 8,34–14,95 МПа, а середня міцність на стиск дорівнює 11,0 МПа.

Таблиця 2

## Результати випробування міцності на стиск цегли глиняної звичайної

| Маркування цегли | Розміри перерізу стиску $a_{\text{ср}} \times b_{\text{ср}}$ , мм | Площа перерізу стиску $S$ , см <sup>2</sup> | Руйнівне зусилля $P$ , кН | Міцність на стиск $R_{\text{ст}}$ , МПа |
|------------------|-------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------------|
| 1                | 93,5×120                                                          | 112,2                                       | 120,63                    | 10,75                                   |
| 2                | 96,5×119                                                          | 114,84                                      | 116,0                     | 10,1                                    |
| 3                | 106×112                                                           | 118,72                                      | 177,5                     | 14,95                                   |
| 4                | 102×119                                                           | 121,38                                      | 145,0                     | 11,95                                   |
| 5                | 98×117,5                                                          | 115,15                                      | 113,75                    | 9,88                                    |
| 6                | 103×119                                                           | 122,57                                      | 102,25                    | 8,34                                    |
| Середнє значення |                                                                   |                                             |                           | 11,0                                    |

Для визначення характеристик водостійкості бетонів, таких як межа міцності при стиску, густина, та коефіцієнта розм'якшення використовували чотири зразки цегли глиняної звичайної.

Характер взаємодії бетонних зразків з водою визначали по відношенню до витриманих в нормальних умовах зразків. Для цього зразки-куби витримували під

водою на протязі 2-х діб, а потім виймали з води і витирали від залишкової води ганчіркою.

Міцність водо насичених бетонів на стиск та їх густину визначали аналогічно визначенню цих характеристик цегли до водонасичення. Результати визначення межі міцності водонасиченої цегли на згин і стиск наведені в таблицях 3 і 4 відповідно.

Таблиця 3

## Результати випробування міцності на згин цегли глиняної звичайної водонасиченої

| Маркування цегли | Маса сухого зразка, $m_1$ , г | Маса водонасиченого зразка, $m_2$ , г | Водопоглинання, $W$ , % | Розміри перерізу $l_{\text{ср}} \times b_{\text{ср}}$ , мм | Висота зразка $h_{\text{ср}}$ , мм | Площа зразка $S$ , см <sup>2</sup> | Об'єм зразка $V$ , см <sup>3</sup> | Густина, $\rho$ , г/см <sup>3</sup> | Руйнівне зусилля $P$ , кН | Міцність на згин $R_{\text{зг}}$ , МПа |
|------------------|-------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------|----------------------------------------|
| 7                | 3 304,3                       | 3 835,95                              | 16,09                   | 250,5×121,5                                                | 65,25                              | 304,36                             | 1 985,95                           | 1,932                               | 4,3                       | 2,49                                   |
| 8                | 3 013,1                       | 3 487,15                              | 15,73                   | 246×120                                                    | 62,5                               | 295,2                              | 1 845,00                           | 1,890                               | 3,4                       | 2,13                                   |
| 9                | 3 264,8                       | 3 807,55                              | 16,62                   | 250,25×121                                                 | 63,75                              | 302,8                              | 1 930,35                           | 1,972                               | 2,7                       | 1,65                                   |
| 10               | 3 162,1                       | 3 701,45                              | 17,06                   | 247×119                                                    | 62,0                               | 293,93                             | 1 822,37                           | 2,031                               | 1,7                       | 1,1                                    |
| Середнє значення |                               |                                       | 16,38                   |                                                            |                                    |                                    |                                    | 1,956                               |                           | 1,84                                   |

Таблиця 4

## Результати випробування міцності на стиск цегли глиняної звичайної водонасиченої

| Маркування цегли | Розміри перерізу стиску $a_{\text{ср}} \times b_{\text{ср}}$ , мм | Площа перерізу стиску $S$ , см <sup>2</sup> | Руйнівне зусилля $P$ , кН | Міцність на стиск $R_{\text{ст}}$ , МПа |
|------------------|-------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------------|
| 7                | 114,5×121                                                         | 138,55                                      | 126,65                    | 9,11                                    |
| 8                | 117×120                                                           | 140,4                                       | 129,13                    | 9,2                                     |
| 9                | 103×123                                                           | 126,69                                      | 106,25                    | 8,19                                    |
| 10               | 95,5×120                                                          | 114,6                                       | 121,25                    | 10,58                                   |
| Середнє значення |                                                                   |                                             |                           | 9,27                                    |

Коефіцієнт розм'якшення визначали згідно методики [9], як відношення міцності зразків на стиск в водонасиченому стані до міцності зразків в сухому стані за формулою

$$K_p = \frac{R_v}{R_c}, \quad (2)$$

Де  $R_v$  – міцність зразків після водонасичення, МПа;  $R_c$  – міцність зразків до водонасичення, МПа.



Водопоглинення за масою цегли звичайної, витриманої в нормальних умовах, визначали у відсотках згідно цегли у насиченому водою стані по нормативному документу [10] за формулою:

$$W_M = \frac{m_c - m_v}{m_c} \times 100, \quad (3)$$

де  $m_c$  – маса висушеного зразка, г;  $m_v$  – маса водо насиченого зразка, г.

Як видно з таблиці 3 міцність водонасиченої цегли на згин знаходиться в межах 1,1–2,49 МПа, а середня її міцність на згин дорівнює 1,84 МПа. Густина водонасиченої цегли глиняної звичайної знаходиться в межах 1,89–2,031 г/см<sup>3</sup>, а середня густина складає 1,956 г/см<sup>3</sup>.

Водопоглинення цегли знаходиться в межах 15,73–17,06 %, а середнє водопоглинення складає 16,38 %.

Як видно з таблиці 4 міцність водонасиченої цегли на стиск, знаходиться в межах 8,19–10,58 МПа, а середня міцність на стиск дорівнює 9,27 МПа.

Проведені на першому етапі випробування цегли глиняної звичайної на згин, стиск та водостійкість дозволили узагальнити результати досліджень. Узагальнені результати досліджень цегли глиняної звичайної наведені в таблиці 5. Марку цегли за міцністю на стиск і згин визначали по нормативному документу [11].

Таблиця 5

**Загальні результати визначення міцнісних та водостійких характеристик цегли глиняної звичайної**

| Середня густина в сухому стані, $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> | Межа міцності в сухому стані, МПа |             | Марка цегли, $M$    |                      |             | Межа міцності в насиченому водою стані, МПа |             | Водопоглинення $W$ , % | Коефіцієнт розм'якшення, $K_p$ |
|------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-------------|---------------------|----------------------|-------------|---------------------------------------------|-------------|------------------------|--------------------------------|
|                                                            | При згині                         | При стиску  | За міцністю на згин | За міцністю на стиск | Загальна    | При згині                                   | При стиску  |                        |                                |
| <b>1 740</b>                                               | <b>3,66</b>                       | <b>11,0</b> | <b>M250</b>         | <b>M100</b>          | <b>M100</b> | <b>1,84</b>                                 | <b>9,27</b> | <b>16,38</b>           | <b>0,84</b>                    |

Як видно з таблиці 5 межа міцності цегли глиняної звичайної при згині склала 3,66 МПа, а при стиску 11,0 МПа. Марка цегли, визначена за результатами випробування міцності на згин і стиск склала M250 і M100 відповідно. Загальну марку цегли прийняли за показниками міцності цегли на стиск і вона склала M100. Середня густина цегли глиняної звичайної склала 1740 кг/м<sup>3</sup>. Межа міцності водонасиченої цегли на згин і стиск склала 1,84 МПа і 9,27 МПа відповідно. Коефіцієнт розм'якшення цегли глиняної звичайної становить 0,84, що більше 0,7, тому цегла відноситься до водостійких матеріалів [9]. Цегла глиняна звичайна має велике водопоглинення яке становить 16,38 %.

На другому етапі досліджень розглядали можливість використання заповнювача, отриманого в результаті подрібнення цегли глиняної звичайної, властивості якої були визначені на першому етапі досліджень.

Подрібнення зразків цегли глиняної звичайної виконувалось на лабораторній

щоківій дробарці зі складним обертанням. Перед подрібненням цеглу глиняну звичайну роздавлювали на окремі куски на пресі П-125. Принцип роботи щоківій дробарки полягає в роздавлюванні куски цегли між двома плоскими поверхнями.

В результаті подрібнення в щоківій дробарці був отриманий заповнювач, який складався з великих та дрібних фракцій (рис. 5).



Рис. 5. Загальний вигляд заповнювача, отриманого після подрібнення цегли

Оскільки, при розробці складів бетонів суттєву роль відіграє фракційний склад заповнювача, то для якісного підбору складу бетонної суміші необхідно дослідити його основні характеристики.

Фракційний склад компонентів визначали за методикою [12, с. 9] шляхом просіювання проби через стандартний набір металевих сит d300h100. Залишки на ситах зважували за допомогою електронних ваг SPX6201 (0–6,2 кг). Об'ємну насипну густину подрібненого заповнювача визначали згідно з методикою для сипучих матеріалів [12, с. 28–29; 13]. Перед випробуванням фракційного складу та насипної густини лабораторну пробу заповнювача висушували до постійної маси.

Вміст зерен заповнювача пластинчастої (лещадної) або голчастої форми визначали окремо для кожної фракції, залишок якої на ситі був не менш 5 % за методикою [12, с. 16–17]. Для цього кожну пробу зважували та від неї вибирали зерна заповнювача, товщина яких менш довжини в три і більш разів. Вміст в кожній фракції заповнювача зерен пластинчастої (лещадної) та голчастої форми  $P_{пл}$ , %, визначали за формулою:

$$P_{пл} = \frac{m_1}{m} 100, \quad (4)$$

де  $m$  – маса проби, г;  $m_1$  – маса зерен пластинчастої (лещадної) та голчастої форми.

Результати визначення фракційного складу вторинного заповнювача наведені в таблиці 6.

Таблиця 6

Фракційний склад вторинного заповнювача отриманого з цегли глиняної звичайної

| Найменування компонентів                       | Залишки на ситах, %, з розміром вічок в мм |      |      |      |      |      |      |      |       |      |            | Об'ємна насипна густина, кг/м <sup>3</sup> |
|------------------------------------------------|--------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------------|--------------------------------------------|
|                                                | 25                                         | 20   | 15   | 10   | 5    | 2,5  | 1,25 | 0,63 | 0,315 | 0,16 | менше 0,16 |                                            |
| Заповнювач                                     | 13,1                                       | 16,7 | 18,6 | 15,5 | 15,0 | 8,4  | 3,0  | 2,0  | 1,2   | 1,4  | 5,1        | 935                                        |
| Зерна лещадної і голчастої форми, $P_{пл}$ , % | 5,2                                        | 1,75 | 1,3  | 4,05 | 3,4  | 3,05 | –    | –    | –     | –    | –          |                                            |



Рис. 6, а. Загальний вигляд залишків заповнювача на ситах з вічками 25, 20 і 15 мм відповідно



Рис. 6, б. Загальний вигляд залишків заповнювача на ситах з вічками 10, 5 і 2,5 мм відповідно

Як видно з таблиці 6 вторинний заповнювач, який отриманий шляхом подрібнення цегли глиняної звичайної можна поділити на дві частини: великий – фракції 5–25 мм в кількості 65,8 % і дрібний – фракції 0,16–5 мм в кількості 16,0 %. Заповнювач фракції менш 0,16 мм в кількості 5,1 % є тонкомеленою добавкою і буде застосований в сумішах разом з цементом. Об'ємна насипна густина заповнювача складає 935 кг/м<sup>3</sup>.

На рисунках 6а, 6б наведений загальний вигляд залишків заповнювача на стандартних ситах. Кількість зерен заповнювача пластинчастої (лещадної) або голчастої форми, визначений для фракцій 2,5–25 мм, знаходиться в межах 1,75–5,2 %. Така незначна кількість зерен пластинчастої або голчастої форми не вплине на загальні міцнісні характеристики бетону з

використанням цього вторинного заповнювача.

### Висновки

Розглянута можливість використання в складах бетонів заповнювача, отриманого в результаті подрібнення цегли глиняної звичайної, пошкодженої в результаті руйнування будинку під час військових дій. В результаті дослідження цегли в лабораторних умовах встановлено, що вона відповідає по міцності марки М100 і має середню густину  $1\,740\text{ кг/м}^3$ . Така цегла водостійка, так як має коефіцієнт розм'якшення 0,84, а її водопоглинення складає 16,38 %.

Вторинний заповнювач, який отриманий шляхом подрібнення цегли глиняної звичайної має об'ємну насипну

густину  $935\text{ кг/м}^3$  і по фракційному складу його можна поділити на дві частини: великий – фракції 5–25 мм в кількості 65,8 % і дрібний – фракції 0,16–5 мм в кількості 16,0 %. На основі отриманих характеристик цегли глиняної звичайної і вторинного заповнювача подрібненого з цієї цегли, будуть розроблені склади конструкційних бетонів для застосування при будівництві будівель і споруд. Кількість зерен заповнювача пластинчастої (лещадної) або голчастої форми, визначений для фракцій 2,5–25 мм, знаходиться в межах 1,75–5,2 %. Така незначна кількість зерен пластинчастої або голчастої форми не вплине на загальні міцнісні характеристики бетону з використанням цього вторинного заповнювача.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Про схвалення Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року : розпорядження Кабінету Міністрів України від 08.11.2017 р. № 820-р: станом на 17 верес. 2020 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-p#Text>
2. Про затвердження Порядку поводження з відходами, що утворились у зв'язку з пошкодженням (руйнуванням) будівель та споруд внаслідок бойових дій, терористичних актів, диверсій або проведенням робіт з ліквідації їх наслідків та внесення змін до деяких постанов Кабінету Міністрів України : Постанова Кабінету Міністрів України від 27.09.2022 р. № 1073: станом на 3 трав. 2023 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1073-2022-p#Text>
3. Silva R. V., de Brito J., Dhir R. K. Tensile strength behaviour of recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*. 2015. Vol. 83. Pp. 108–118.
4. Савицький М. В., Смирнов А. С. Особливості використання подрібненого бетонного брухту в якості крупного заповнювача для бетону. *Український журнал будівництва та архітектури*. 2023. № 6 (018). С. 111–117. URL: <https://doi.org/10.30838/J.BPSACEA.2312.261223.111.1013>
5. Jain Harshit, Kumar Baradiya Vijay. Determination of Mechanical Properties of Mortar by Using Fine Crushed Glass (FCG) and Waste Rubber (WR). (March 16, 2019). *Proceedings of Recent Advances in Interdisciplinary Trends in Engineering & Applications (RAITEA)*. 2019. URL: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3353639>
6. Бешпаев З. У., Аствацатурова Л. Х., Колодяжный С. А., Вернигора С. А., Лопатинский В. В. Определение нормируемых характеристик рециклингового щебня из боя силикатного кирпича и перспективы его применения. *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2022. № 33 (2). С. 63–73. URL: [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-63-73](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-63-73)
7. Farid Debieb, Kenai S. The use of coarse and fine crushed bricks as aggregate in concrete. *Construction and Building Materials*. 2008. № 22. Pp. 886–893.
8. ДСТУБ. В. 2.7-248:2011. Матеріали стінові. Методи визначення границь міцності при стиску і згині. Київ: Мінрегіонбуд України, 2012.
9. Физические свойства бетона, определяемые путем его взаимодействия с водой. URL: [www.bsu-5.ru/voda](http://www.bsu-5.ru/voda).
10. ДСТУ Б В.2.7-42-97. Будівельні матеріали. Методи визначення водопоглинення, густини і морозостійкості будівельних матеріалів і виробів. Київ : Держкоммістобудування України, 1997. 21 с.
11. ДСТУ Б. В. 2.7-61:2008. Будівельні матеріали. Цегла та камені керамічні рядові та лицьові. Технічні умови. Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. 45 с.
12. ДСТУ Б В.2.7-71-98 (ГОСТ 8269.0-97). Щебінь і гравій із щільних гірських порід і відходів промислового виробництва для будівельних робіт. Методи фізико-механічних випробувань. Київ : Державний комітет будівництва, архітектури і житлової політики України, 1999. 47 с.
13. ДСТУ Б В.2.7-32-95. Технічні умови. Будівельні матеріали. Пісок щільний природний для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Київ : Держкоммістобудування України, 1996. 14 с.
14. Volchuk V. M., Kotov M. A., Plakhtii Ye. G., Tymoshenko O. A., Zinkevych O. H. Investigation of the



Influence of the Heterogeneous Structure of Concrete on its Strength. *Results in Materials*. 2025, vol. 25, p. 100659 (7 p.) URL: <https://doi.org/10.1016/j.rinma.2025.100659>

## REFERENCES

1. *Pro skhvalennia Natsionalnoi stratehii upravlinnia vidkhodamy v Ukraini do 2030 roku* [On the approval of the National Waste Management Strategy in Ukraine until 2030]. Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 08.11.2017 no. 820-r: as of 17 Sep. 2020. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-p#Text> (in Ukrainian).
2. *Pro zatverdzhennia Poriadku povodzhennia z vidkhodamy, shcho utvorylys u zviazku z poshkodzhenniam (ruinuvanniam) budivel ta sporud vnaslidok boiovykh dii, terorystychnykh aktiv, dyversii abo provedenniam robit z likvidatsii yikh naslidkiv ta vnesennia zmin do deiakyykh postanov Kabinetu Ministriv Ukrainy* [On approval of the Procedure for handling waste generated in connection with damage (destruction) of buildings and structures as a result of hostilities, terrorist acts, sabotage or work to eliminate their consequences and amending certain resolutions of the Cabinet of Ministers of Ukraine]. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated September 27, 2022 no. 1073: as of May 3, 2023. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1073-2022-n#Text> (in Ukrainian).
3. Silva R.V., de Brito J. and Dhir R.K. Tensile strength behaviour of recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*. 2015, vol. 83, pp. 108–118.
4. Savytskyi M.V. and Smyrnov A.S. *Osoblyvosti vykorystannia podribnenoho betonnoho brukhtu v yakosti krupnogo zapovniuvacha dlia betonu* [Features of using crushed concrete scrap as a coarse aggregate for concrete]. *Ukrayins'kyi zhurnal budivnytstva ta arkhitektury* [Ukrainian Journal of Civil Engineering and Architecture]. 2023, no. 6 (018), pp. 111–117. URL: <https://doi.org/10.30838/J.BPSACEA.2312.261223.111.1013> (in Ukrainian).
5. Jain Harshit and Kumar Baradiya Vijay. Determination of Mechanical Properties of Mortar by Using Fine Crushed Glass (FCG) and Waste Rubber (WR). (March 16, 2019). *Proceedings of Recent Advances in Interdisciplinary Trends in Engineering & Applications (RAITEA)*. 2019. URL: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3353639>
6. Бєрпаєв З.У., Астватсатурова Л.К., Колодіазхніи С.А., Верньхора С.А. and Лопатинський В.В. *Opredeľenye normyruemykh kharakterystyk retsyklynhovoho shchebnia yz boia sylykatnoho kyrpycha y perspektivy eho prymerenyia*. [Determination of normalized characteristics of recycled crushed stone from silicate bricks and prospects for its application]. *Vestnyk NITS "Stroitelstvo"* [Bulletin of the SRC "Civil Engineering"]. 2022, no. 33 (2), pp. 63–73. URL: [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-63-73](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-63-73) (in Ukrainian).
7. Farid Debieb and Kenai S. The use of coarse and fine crushed bricks as aggregate in concrete. *Construction and Building Materials*. 2008, no. 22, pp. 886–893.
8. DSTUB. V. 2.7-248:2011. *Materialystynovi. Metody vyznachennia hranyts mitsnosti pry stysku i zghyni* [Materials. Methods for determining compressive and bending strength limits]. Kyiv Ministry of Regional Development and Construction of Ukraine, 2012. (in Ukrainian).
9. *Fyzycheskye svoystva betona, opredeliaemye putem eho vzaymodeistviya s vodoi* [Physical properties of concrete determined by its interaction with water]. URL: [www.bs-5.ua/voda](http://www.bs-5.ua/voda) (in Russian).
10. DSTU B V.2.7-42-97. *Budivelni materialy. Metody vyznachennia vodopohlynennia, hustyny i morozostiikosti budivelnnykh materialiv i vyrobiv* [Building materials. Methods for determining water absorption, density and frost resistance of building materials and products]. Kyiv : State Committee for Urban Planning of Ukraine, 1997, 21 p. (in Ukrainian).
11. DSTU B. V. 2.7-61:2008. *Budivelni materialy. Tsehla ta kameni keramichni riadovi ta lytsovi. Tekhnichni umovy* [Building materials. Ceramic bricks and stones, ordinary and facing. Technical conditions]. Kyiv : Ministry of Regional Development and Construction of Ukraine, 2009, 45 p. (in Ukrainian).
12. DSTU B V.2.7-71-98 (HOST 8269.0-97). *Shchebin i hravii iz shchilnykh hirskykh porid i vidkhodiv promyslovoho vyrobnytstva dlia budivelnnykh robit. Metody fizyko-mekhanichnykh vyprobuvan* [Crushed stone and gravel from dense rocks and industrial waste for construction work. Physical and mechanical test methods]. Kyiv : State Committee for Construction, Architecture and Housing Policy of Ukraine, 1999, 47 p. (in Ukrainian).
13. DSTU B V.2.7-32-95. *Tekhnichni umovy. Budivelni materialy. Pisok shchilnyi pryrodnyi dlia budivelnnykh materialiv, vyrobiv, konstruktiv i robit* [Technical conditions. Building materials. Dense natural sand for building materials, products, structures and works]. Kyiv : State Committee for Urban Planning of Ukraine, 1996, 14 p. (in Ukrainian).
14. Volchuk V.M., Kotov M.A., Plakhtii Ye.G., Tymoshenko O.A. and Zinkevych O.H. Investigation of the Influence of the Heterogeneous Structure of Concrete on its Strength. *Results in Materials*. 2025, vol. 25, p. 100659 (7 p.). URL: <https://doi.org/10.1016/j.rinma.2025.100659>

Надійшла до редакції: 13.05.2025.

УДК 624.05

DOI: 10.30838/UJCEA.2312.270425.103.1166

## ОРГАНІЗАЦІЯ І УПРАВЛІННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЄЮ ОБ'ЄКТІВ ЖИТЛОВОЇ НЕРУХОМОСТІ

КРАВЧУНОВСЬКА Т. С.<sup>1\*</sup>, *докт. техн. наук, проф.*,  
КОВАЛЬОВ В. В.<sup>2</sup>, *докт. техн. наук, доц.*,  
ДАНИЛОВА Т. В.<sup>3</sup>, *канд. техн. наук, доц.*,  
БОРИСОВ М. І.<sup>4</sup>, *маг.*,  
ДВОРНІЧЕНКО А. Д.<sup>5</sup>, *асп.*

<sup>1\*</sup> 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 (056) 756-33-66, e-mail: [t.s.kravchunovska@ust.edu.ua](mailto:t.s.kravchunovska@ust.edu.ua), ORCID ID: 0000-0002-0986-8995

<sup>2</sup> 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, тел. +38 (068) 906-86-42, e-mail: [v.v.kovalov@ust.edu.ua](mailto:v.v.kovalov@ust.edu.ua), ORCID ID: 0000-0001-6731-4192

<sup>3</sup> 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 (056) 756-33-66, e-mail: [t.v.danylova@ust.edu.ua](mailto:t.v.danylova@ust.edu.ua), ORCID ID: 0000-0001-9319-0154

<sup>4</sup> 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) 157-04-66, e-mail: [dn02.borysov@365.pdaba.edu.ua](mailto:dn02.borysov@365.pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0009-0002-1149-5945

<sup>5</sup> 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 (098) 434-68-89, e-mail: [dvorikdnepr@gmail.com](mailto:dvorikdnepr@gmail.com), ORCID ID: 0009-0001-0287-4989

**Анотація. Постановка проблеми.** Збройна агресія Російської Федерації проти України здійснює надзвичайний вплив на життя людей і життєдіяльність українського суспільства, адже внаслідок воєнних дій зруйновано велику кількість житлових будівель, об'єктів інфраструктури, промислових виробництв. Доступність та забезпеченість громадян житлом мають безпосередній вплив на демографічну та економічну ситуацію, а також на рівень життя в Україні в умовах воєнного стану. Для вирішення цих завдань, а також розвитку економіки України, що надзвичайно актуально в умовах воєнного стану, існує об'єктивна потреба у збільшенні обсягів житлового будівництва. Усе це потребує, з одного боку, значних ресурсів для відновлення, а з іншого боку – ефективних методів управління нерухомістю, зокрема житловою. Враховуючи це, дослідження ринку житлової нерухомості в Україні в умовах воєнного стану для оцінювання потреби українського населення в об'єктах житлової нерухомості є об'єктивною необхідністю і актуальним завданням для подальших наукових досліджень у напрямі розроблення та впровадження проєктів будівництва житла та його ефективної експлуатації в умовах воєнного стану, що дозволить зменшити міграцію населення за кордон і сприятиме стабілізації ситуації в регіонах України. **Мета статті.** Розроблення практичних пропозицій щодо обґрунтування доцільності впровадження та ефективності проєкту незалежного енергозабезпечення житлового будинку в умовах воєнного стану. **Висновок.** За результатами аналізу факторів, які визначають розвиток ринку житлової нерухомості, можна виокремити вплив таких чинників, як обсяги капітальних вкладень, поведінка покупців та орендарів, купівельна спроможність населення України, умови іпотечного кредитування. Також в умовах воєнного стану визначальним чинником при виборі об'єкта житлової нерухомості став фактор безпеки та чинник наявності систем незалежного енергозабезпечення. За сьогоденних реалій, проєкти незалежного енергозабезпечення житлового будинку доцільно впроваджувати, якщо вони фінансуватимуться переважно за рахунок власних коштів.

**Ключові слова:** *нерухомість; житлова будівля; управління нерухомістю; життєвий цикл; інвестиція; джерела фінансування*

## ORGANISATION AND MANAGEMENT OF RESIDENTIAL PROPERTY MAINTENANCE

KRAVCHUNOVSKA T.S.<sup>1\*</sup>, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,  
KOVALOV V.V.<sup>2</sup>, *Dr. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*,

DANYLOVA T.V.<sup>3</sup>, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*,  
BORYSOV M.I.<sup>4</sup>, *Master's degree*,  
DVORNICHENKO A.D.<sup>5</sup>, *PhD Stud.*

<sup>1\*</sup> 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 (056) 756-33-66, e-mail: [t.s.kravchunovska@ust.edu.ua](mailto:t.s.kravchunovska@ust.edu.ua), ORCID ID: 0000-0002-0986-8995

<sup>2</sup> 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, tel. +38 (068) 906-86-42, e-mail: [v.v.kovalov@ust.edu.ua](mailto:v.v.kovalov@ust.edu.ua), ORCID ID: 0000-0001-6731-4192

<sup>3</sup> 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 (056) 756-33-66, e-mail: [t.v.danylova@ust.edu.ua](mailto:t.v.danylova@ust.edu.ua), ORCID ID: 0000-0001-9319-0154

<sup>4</sup> 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) 157-04-66, e-mail: [dn02.borysov@365.pdaba.edu.ua](mailto:dn02.borysov@365.pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0009-0002-1149-5945

<sup>5</sup> 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 (098) 434-68-89, e-mail: [dvorikdnepr@gmail.com](mailto:dvorikdnepr@gmail.com), ORCID ID: 0009-0001-0287-4989

**Abstract. Raising of problem.** The military aggression of the Russian Federation against Ukraine has an extraordinary impact on people's lives and the life of Ukrainian society, as a large number of residential buildings, infrastructure and industrial enterprises have been destroyed as a result of military actions. Accessibility and availability of housing have a direct impact on the demographic and economic situation, as well as on the standard of living in Ukraine under martial law. To address these challenges, as well as the development of Ukraine's economy, which is extremely important under martial law, there is an objective need to increase the volume of housing construction. All of this requires, on the one hand, significant resources for recovery, and, on the other hand, effective methods of managing real estate, including residential real estate. In view of this, a study of the residential real estate market in Ukraine under martial law to assess the need of the Ukrainian population for residential real estate is an objective necessity and an urgent task for further research in the development and implementation of housing construction projects and their effective maintenance under martial law, which will reduce migration abroad and help stabilise the situation in the regions of Ukraine. **Purpose of the article.** Development of practical proposals to substantiate the feasibility and effectiveness of an independent energy supply project for a residential building under martial law. **Conclusion.** An analysis of the factors that determine the development of the residential property market shows that the impact of such factors as capital investment, the behaviour of buyers and tenants, the purchasing power of the Ukrainian population, and mortgage lending conditions are among the most important. In addition, under martial law, the security factor and the availability of independent power supply systems became a determining factor in choosing a residential property. In today's realities, it is advisable to implement independent energy supply projects for residential buildings if they are financed primarily at the expense of own funds.

**Keywords:** *real estate; residential building; property management; life cycle; investment; funding sources*

**Постановка проблеми.** Збройна агресія Російської Федерації проти України здійснює надзвичайний вплив на життя людей, адже внаслідок воєнних дій зруйновано велику кількість житлових будівель, об'єктів інфраструктури, підприємств. Відбудова зруйнованих або пошкоджених будівель потребує, з одного боку, значних ресурсів для відновлення, а з іншого боку – ефективних методів управління нерухомістю.

Для житлової нерухомості наразі одним із найгостріших є завдання підвищення енергоефективності, а зважаючи на постійні атаки збройних сил РФ на об'єкти української енергетичної інфраструктури,

через які відбуваються нерегулярні і непередбачувані відключення електроенергії, що спричиняє незручності для населення та бізнесу, надзвичайно важливою є наявність систем незалежного енергозабезпечення.

Одним із можливих вирішень цього завдання є використання альтернативних джерел енергії, а саме сонячних електростанцій.

**Аналіз публікацій.** Ґрунтуючись на основних положеннях Указу Президента України «Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року» від 30 вересня 2019 р. № 722/2019 [1], Постанови Верховної Ради України «Про

Концепцію сталого розвитку населених пунктів» від 24 грудня 1999 р. № 1359-XIV [2], Постанови Кабінету Міністрів України «Про затвердження Державної програми забезпечення молоді житлом на 2013–2026 роки» від 24 жовтня 2012 р. № 967 [3], Постанови Кабінету Міністрів України «Про затвердження Програми розвитку інвестиційної та інноваційної діяльності в Україні» від 02 лютого 2011 р. № 389 [4], Плану відновлення України [5], дослідження ринку житлової нерухомості в Україні в умовах воєнного стану для оцінювання потреби українського населення в об'єктах житлової нерухомості є об'єктивною необхідністю і актуальним завданням для подальших наукових досліджень у напрямі розроблення та впровадження проєктів будівництва житла та його ефективної експлуатації в умовах воєнного стану, що дозволить зменшити міграцію населення за кордон і сприятиме стабілізації ситуації в регіонах України.

**Формулювання мети статті та постановка завдань.** Метою дослідження є розроблення практичних пропозицій щодо обґрунтування доцільності впровадження та ефективності проєкту незалежного енергозабезпечення житлового будинку в умовах воєнного стану.

Досягнення цієї мети потребує вирішення таких завдань:

- аналіз зарубіжного та вітчизняного досвіду, нормативних документів у галузі проєктування, будівництва та експлуатації житлових будівель;

- дослідження особливостей функціонування ринку житлової нерухомості в умовах воєнного стану та визначення факторів, які впливають на обсяги житлового будівництва;

- розроблення пропозицій щодо обґрунтування доцільності впровадження та ефективності проєкту незалежного енергозабезпечення житлового будинку в умовах воєнного стану.

**Результати досліджень.** Житлова нерухомість – це квартири або будинки, в яких живуть люди. Це охоплює широкий спектр типів житла, багато з яких

користуються послугами компаній з управління нерухомістю.

Запорукою успішної експлуатації житлової нерухомості є планування. Власникам житлової нерухомості потрібен план, відповідно до якого здійснюватиметься експлуатація житлових будівель. Хоча насправді планування починається ще до придбання нерухомості. Планування перед покупкою нерухомості передбачає отримання відповідей на запитання про те, в якому районі міста придбати нерухомість, якої площі квартиру або будинок придбати, чи потрібна нерухомість з уже виконаним ремонтом, чи це має бути об'єкт у новобудові, за які кошти буде придбано об'єкт нерухомості тощо. Отримані відповіді на ці запитання дозволять вирішити низку наступних завдань щодо управління та експлуатації об'єкта нерухомості [6].

Протягом 2022–2024 рр. спостерігається зменшення обсягів завершеного будівництвом і введеного в експлуатацію житла порівняно з довоєнним періодом. Проте після завершення воєнного стану в Україні очікується суттєвий попит як на оренду, так і на купівлю житла.

За результатами аналізу факторів, які визначають розвиток ринку житлової нерухомості [7; 8], можна виокремити вплив таких чинників, як обсяги капітальних вкладень, поведінка покупців та орендарів, купівельна спроможність населення України, умови іпотечного кредитування. Також в умовах воєнного стану визначальним чинником при виборі об'єкта житлової нерухомості став фактор безпеки та чинник наявності систем незалежного енергозабезпечення.

Дослідники ринку оренди житла дійшли висновку, що найефективнішим воно буде в тому випадку, якщо акцентувати увагу на місцерозташуванні, дизайні, фінансовій життєздатності, а також якісному управлінні та обслуговуванні [7; 8]. Такий висновок, ймовірно, буде справедливим для будь-якого типу орендного житла.

Також менеджери з управління житловою нерухомістю допомагають

власникам житла максимально ефективно використовувати свої активи та сприяють покращенню життя багатьох мешканців.

Менеджер житлової нерухомості повинен своєчасно здавати в оренду об'єкти житлової нерухомості за найвищою можливою ринковою орендною платою, утримувати операційні витрати в межах бюджету, а також зберігати та підвищувати фізичну цінність і престиж власності.

Для того, аби виконувати всі ці функції, менеджер житлової нерухомості повинен володіти певними компетентностями, тобто знаннями, навичками, здібностями, необхідними для виконання зазначених

вище завдань, а також менеджер житлової нерухомості повинен володіти такими «м'якими» навичками (soft skills), як:

- робота з клієнтами;
- комунікація та переговори;
- правила поведінки, етика та професійна практика;
- процедури уникнення конфліктів, управління ними та вирішення спорів;
- управління даними;
- здоров'я та безпека;
- сталий розвиток;
- робота в команді [8] (табл. 1).

Таблиця 1

«М'які» навички менеджера житлової нерухомості

| Назва                                                               | Вимоги                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Робота з клієнтами                                                  | Знання та розуміння: <ul style="list-style-type: none"> <li>– концепції ідентифікації клієнтів/колег/третіх осіб, та поведінки, яка є доречною для встановлення адекватних взаємовідносин із клієнтами;</li> <li>– систем та процедур, які потрібні для управління взаємовідносинами з клієнтами, зокрема розгляд скарг;</li> <li>– вимог щодо збирання даних, аналізу та визначення потреб клієнтів.</li> </ul>                                                                                                                                                                           |
| Комунікація та переговори                                           | Знання та розуміння ефективних усних, письмових, презентаційних навичок і застосування цих навичок у різних ситуаціях, зокрема під час ведення переговорів.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Правила поведінки, етика та професійна практика                     | Розуміння особистої професійної ролі та очікувань суспільства від професійної практики.<br>Вміння обґрунтовувати свої дії в будь-який час і демонструвати особисту відданість.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Уникнення конфліктів, управління ними та процедури вирішення спорів | Знання та розуміння методів уникнення конфліктів, управління конфліктами та процедур вирішення спорів, зокрема судовий розгляд та арбітраж.<br>Приклади завдань, виконуваних менеджером житлової нерухомості: <ul style="list-style-type: none"> <li>– демонструвати третім особам наявність і достатність повноважень для вирішення спорів;</li> <li>– організація медіації в сусідських спорах;</li> <li>– допомога у передачі сусідських спорів на розгляд до відповідного органу, визначеного законом;</li> <li>– консультування щодо наслідків того чи іншого способу дій.</li> </ul> |
| Управління даними                                                   | Знання та розуміння джерел інформації і даних, а також методів, які найкраще підходять для збору, узагальнення та зберігання даних.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Здоров'я та безпека                                                 | Знання та розуміння принципів і обов'язків, які накладаються законодавством та нормативно-правовими актами, щодо дотримання вимог у сфері охорони здоров'я та безпеки.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Сталий розвиток                                                     | Знання та розуміння того, чому і як сталий розвиток прагне збалансувати економічні, екологічні та соціальні цілі на глобальному, національному та місцевому рівнях, в контексті власності та антропогенного середовища.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Робота в команді                                                    | Знання і розуміння принципів, поведінки та динаміки роботи в команді.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

Формування та експлуатацію житлового фонду доцільно здійснювати на основі концепції сталого розвитку населених пунктів. Згідно з [2], сталий розвиток населених пунктів – це соціально,

економічно і екологічно збалансований розвиток міських і сільських поселень, спрямований на створення їх економічного потенціалу, повноцінного життєвого середовища для сучасного та наступних

поколінь на основі раціонального використання ресурсів (природних, трудових, виробничих, науково-технічних, інтелектуальних тощо), технологічного переоснащення і реструктуризації підприємств, удосконалення соціальної, виробничої, транспортної, комунікаційно-інформаційної, інженерної, екологічної інфраструктури, поліпшення умов проживання, відпочинку та оздоровлення, збереження та збагачення біологічного різноманіття та культурної спадщини.

Складний і міждисциплінарний характер завдань забезпечення сталого розвитку обумовлює необхідність залучення до їх вирішення фахівців усіх галузей економіки України, зокрема у галузі будівництва та цивільної інженерії.

Тобто сталий розвиток міст передбачає вдосконалення підходів до містобудування і управління розвитком міст, ґрунтуючись на принципах інклюзивності, безбар'єрності, доступності житла, зменшення негативного впливу життєдіяльності людини на довкілля.

Розглянувши ситуацію в сфері управління житлової нерухомістю, можна зробити висновок, що для об'єктів житлового фонду одним із найгостріших є завдання підвищення енергоефективності, а зважаючи на чинник воєнної агресії РФ проти України, надзвичайно важливим є чинник наявності систем незалежного енергозабезпечення. Адже внаслідок постійних атак збройних сил РФ на об'єкти української енергетичної інфраструктури відбуваються нерегулярні і непередбачувані відключення електроенергії, що спричиняє незручності для населення та бізнесу.

Тому доцільно розглянути такий варіант вирішення завдання незалежного енергозабезпечення, як використання альтернативних джерел енергії, а саме сонячних електростанцій.

В зв'язку з цим пропонується проєкт придбання і встановлення сонячної електростанції (СЕС) потужністю 30 кВт.

Вироблена електроенергія забезпечуватиме власне споживання будинку. При перевищенні потужності генерації сонячної електростанції над

споживанням будинку надлишок енергії «віддаватиметься» в загальну енергомережу, а при недостатній генерації системи відсутня енергія споживається з загальної енергомережі. Оплата за «зеленим» тарифом відбувається в кінці кожного місяця за надлишок згенерованої електроенергії (тобто за позитивну різницю між показником генерації станції та споживанням домогосподарства).

Таким чином, впровадження такого проєкту дозволить зекономити енергоресурси завдяки підвищенню енергоефективності будинку.

Також слід зауважити, що встановлення та експлуатація сонячних електростанцій – це не лише крок до енергетичної автономності, це і крок у напрямку декарбонізації на шляху до сталого розвитку.

Сонячну електростанцію планується розмістити на даху житлового будинку.

Сума інвестицій становить 857360 грн, або 21 434 USD (вартість устаткування і монтажних робіт) [9].

У середньому станція потужністю 30 кВт виробляє 27,5 МВт·год електроенергії за один рік роботи [9].

Вартість одного кіловата за «зеленим тарифом» становить 0,164 євро. Таким чином, за 1 рік роботи станція принесе дохід 246 000 грн (або 6 150 USD) за умови продажу всієї згенерованої електроенергії. З урахуванням податків, прибуток складе 200 000 грн (або 5 000 USD) на рік [9].

Гарантія на сонячні панелі – 15 років. Це гарантія, за якою можна обміняти панель на нову у випадку виявлення заводського браку [9].

Інвестування цього проєкту можна здійснити двома способами:

- 1-й варіант: за власні кошти;
- 2-й варіант: за рахунок банківського кредиту.

Для обґрунтування доцільності впровадження та ефективності проєкту незалежного енергозабезпечення житлового будинку потрібно розрахувати показники ефективності: чистий дисконтований дохід,

індекс прибутковості, внутрішня норма прибутковості, термін окупності [10–12].

Для розрахунку показників ефективності проєкту необхідно обґрунтувати величину ставки дисконту.

Ставка дисконту дорівнює прийнятній для інвестора нормі доходу на вкладений капітал [10–12]. Тому при обґрунтуванні її величини потрібно враховувати певні чинники.

Ставка дисконту – це ставка доходу на вкладений капітал у співставні за рівнем ризику альтернативні проєкти.

Оскільки розглядається фінансування проєкту за рахунок власних коштів, то ставка дисконту дорівнюватиме сумі

безризикової ставки та компенсацій за всі види ризиків, притаманних цьому об'єкту:

$$R = R_o + \sum R_i,$$

де  $R_o$  – безризикова ставка дохідності;  $R_i$  – премія за  $i$ -ий ризик.

Зазвичай величина премії за ризики перебуває у діапазоні 0–5 %.

Безризикова ставка може бути визначена за дохідністю державних довгострокових облігацій або за дохідністю за банківським валютним депозитом.

Виходячи з цього визначимо величину ставки дисконту методом кумулятивної побудови (табл. 2).

Таблиця 2

Визначення ставки дисконту

| № з/п                             | Найменування ставки                             | Значення ставки, % |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------|
| 1                                 | Безризикова ставка                              | 0,5                |
| 2                                 | Середньорічний індекс інфляції                  | 5,1                |
| 3                                 | Компенсація за ризик різниці в умовах вкладення | 1                  |
| Прийняте значення ставки дисконту |                                                 | 6,6                |

Безризикова ставка, згідно з [13], становить 0,5 %.

Середньорічний індекс інфляції, за даними [14], становить 5,1 %.

Компенсація за ризик різниці в умовах вкладення прийнято на рівні 1 %.

Таким чином, ставка дисконту дорівнює 6,6 %.

Тепер можна розрахувати необхідні показники ефективності (табл. 3).

Таблиця 3

Результати розрахунків показників ефективності проєкту

|                     | NPV           | PI            | IRR     | PP       |
|---------------------|---------------|---------------|---------|----------|
| 1-й варіант проєкту | 1 441 510 грн | 2,68 грн/грн  | 38,15 % | 3,5 роки |
| 2-й варіант проєкту | -60 852,8 грн | 0,929 грн/грн | 12,41 % | –        |

## Висновки

Сучасний стан житлового будівництва можна визначити як перехід від багатоповерхового однотипного житла до індивідуального житла, заснованого на принципах енергоощадності, біосферосумісності і безпечності.

В умовах воєнного стану визначальними чинниками при виборі об'єкта житлової нерухомості є фактор безпеки та енергонезалежність об'єкта.

Розглянуто ефективність впровадження проєкту незалежного енергозабезпечення житлового будинку для різних умов фінансування: за рахунок власних коштів і за рахунок банківського кредиту.

Згідно з виконаними розрахунками, за першим варіантом: чистий дисконтований дохід дорівнює 1 441 510 грн, що свідчить про ефективність проєкту на запропонованих умовах; індекс прибутковості, що дорівнює 2,68, також підтверджує висновок про те, що проєкт буде прибутковим при запропонованих



умовах; розрахована внутрішня норма прибутковості дозволяє зробити висновок, що можна ефективно реалізувати цей проєкт, якщо плата за ресурси не буде перевищувати 38,15 %; термін окупності інвестицій становить 3,5 роки.

Відповідно до розрахунків за другим варіантом, чистий дисконтований дохід дорівнює –60 852,8 грн, що дозволяє стверджувати про неефективність проєкту на запропонованих умовах, а саме: за рахунок кредиту під 17,5 % річних терміном на п'ять років; індекс прибутковості, що дорівнює 0,929, також підтверджує

висновок про те, що проєкт не буде прибутковим на запропонованих умовах; розраховане значення показника внутрішньої норми прибутковості дозволяє зробити висновок, що ефективно реалізувати цей проєкт за рахунок банківського кредиту можна, якщо плата за нього не перевищуватиме 12,41 %.

Таким чином, проєкт незалежного енергозабезпечення житлового будинку доцільно впроваджувати і буде ефективним, якщо фінансуватиметься за рахунок власних коштів (за заданих умов).

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року : Указ Президента України від 30 вересня 2019 р. № 722/2019. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/722/2019#Text>
2. Про Концепцію сталого розвитку населених пунктів : Постанова Верховної Ради України від 24 грудня 1999 р. № 1359-XIV. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1359-14#Text>
3. Про затвердження Державної програми забезпечення молоді житлом на 2013–2026 роки : Постанова Кабінету Міністрів України від 24 жовтня 2012 р. № 967. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/967-2012-п#Text>
4. Про затвердження Програми розвитку інвестиційної та інноваційної діяльності в Україні : Постанова Кабінету Міністрів України від 02 лютого 2011 р. № 389. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/389-2011-п#Text>
5. План відновлення України. URL: <https://recovery.gov.ua/>
6. Residential Property Management Procedures Manual. URL: <https://www.cicchicago.com/wp-content/uploads/2020/06/PropertyManagementTrainingManual.pdf>
7. Гудзь П. В., Шарова С. В. Теорія і практика розвитку ринку нерухомості регіону : монографія. Запоріжжя : Акцент Інвест-трейд, 2014. 246 с.
8. Бригілевич В., Гура Н., Щодра О., Швець Н., Кіндрацький Б., Бернацький В., Шишко В., Когут Г., Влодарчик Р. Професійне управління житловою нерухомістю : правові, організаційні, економічні і фінансові аспекти : практичний посібник. Т. І. Львів : Папуга, 2013. 228 с.
9. Сонячні технології та енергозберігаючі системи. URL: <https://energosome.in.ua/ua/p1469295787-solnechnaya-elektrostantsiya-kvt.html>
10. Довгань Л. Є., Мохонько Г. А., Малик І. П. Управління проєктами : навч. посібник. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. 420 с.
11. Зачко О. Б., Івануса А. І., Кобилкін Д. С. Управління проєктами : теорія, практика, інформаційні технології. Львів : ЛДУ БЖД, 2019. 173 с.
12. Фесенко Т. Г. Управління проєктами: теорія та практика виконання проєктних дій : навч. посіб. Харків : ХНАМГ, 2012. 181 с.
13. Огляд депозитних ставок в Приватбанку, Ощадбанку, Укргазбанку та Укрексімбанку. URL: <https://kosht.media/stavky-za-depozytamy-v-derzhavnykh-bankakh/>
14. Індекс інфляції в Україні 2024. URL: <https://index.minfin.com.ua/ua/economy/index/inflation/>

### REFERENCES

1. *Pro Tsili staloho rozvytku Ukrainy na period do 2030 roku : Ukaz Prezidenta Ukrainy vid 30 veresnia 2019 r. № 722/2019* [On the Sustainable Development Goals of Ukraine for the period up to 2030 : Decree of the President of Ukraine of 30 September 2019, No. 722/2019]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/722/2019#Text> (in Ukrainian).
2. *Pro Kontseptsiiu staloho rozvytku naselenykh punktiv : Postanova Verkhovnoi Rady Ukrainy vid 24 hrudnia 1999 r. № 1359-XIV* [On the Concept of Sustainable Development of Human Settlements : Resolution of the Verkhovna Rada of Ukraine of 24 December 1999, No. 1359-XIV]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1359-14#Text> (in Ukrainian).

3. *Pro zatverdzhennia Derzhavnoi prohramy zabezpechennia molodi zhytloom na 2013–2026 roky : Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 24 zhovtnia 2012 r. № 967* [On approval of the State Programme for Providing Youth with Housing for 2013–2026 : Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine of 24 October 2012, No. 967]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/967-2012-п#Text> (in Ukrainian).
4. *Pro zatverdzhennia Prohramy rozvytku investytsiinoi ta innovatsiinoi diialnosti v Ukraini : Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 02 liutoho 2011 r. № 389* [On Approval of the Programme for Development of Investment and Innovation Activities in Ukraine : Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine of 02 February 2011, No. 389]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/389-2011-п#Text> (in Ukrainian).
5. *Plan vidnovlennia Ukrainy* [Ukraine's recovery plan]. URL: <https://recovery.gov.ua/> (in Ukrainian).
6. Residential Property Management Procedures Manual. URL: <https://www.cicchicago.com/wp-content/uploads/2020/06/PropertyManagementTrainingManual.pdf>
7. Hudz P.V. and Sharova S.V. *Teoriia i praktyka rozvytku rynku nerukhomosti rehionu : monohrafiia* [Theory and practice of development of the regional real estate market : a monograph]. Zaporizhzhia : Aktsent Invest-treid Publ., 2014, 246 p. (in Ukrainian).
8. Bryhilevych V., Hura N., Shchodra O., Shvets N., Kindratskyi B., Bernatskyi V., Shyshko V., Kohut H. and Vlodarchyk R. *Profesiine upravlinnia zhytlovoi nerukhomosti : pravovi, orhanizatsiini, ekonomichni i finansovi aspekty : praktychnyi posibnyk. Tom I* [Professional management of residential real estate : legal, organisational, economic and financial aspects : a practical guide. Vol. I]. Lviv : Papuha Publ., 2013, 228 p. (in Ukrainian).
9. *Soniachni tekhnologii ta enerhozberihaiuchi systemy* [Solar technologies and energy saving systems]. URL: <https://energosome.in.ua/ua/p1469295787-solnechnaya-elektrostantsiya-kvt.html> (in Ukrainian).
10. Dovhan L.Ye., Mokhonko H.A. and Malyk I.P. *Upravlinnia proiektamy : navch. posibnyk* [Project management : a study guide]. Kyiv : KPI im. Ihoria Sikorskoho Publ., 2017, 420 p. (in Ukrainian).
11. Zachko O.B., Ivanusa A.I. and Kobylkin D.S. *Upravlinnia proiektamy : teoriia, praktyka, informatsiini tekhnologii* [Project management : theory, practice, information technology]. Lviv : LDU BZhD Publ., 2019, 173 p. (in Ukrainian).
12. Fesenko T.H. *Upravlinnia proiektamy : teoriia ta praktyka vykonannia proiektnykh dii : navch. posibnyk* [Project Management : Theory and Practice of Project Activities : a study guide]. Kharkiv : KhNAMH Publ., 2012, 181 p. (in Ukrainian).
13. *Ohliad depozytnykh stavok v Pryvatbanku, Oshchadbanku, Ukrhazbanku ta Ukreksimbanku* [Overview of deposit rates in Privatbank, Oschadbank, UkrGasbank and Ukreximbank]. URL: <https://kosht.media/stavky-za-depozytamy-v-derzhavnykh-bankakh/> (in Ukrainian).
14. *Indeks inflatsii v Ukraini 2024* [Inflation index in Ukraine 2024]. URL: <https://index.minfin.com.ua/ua/economy/index/inflation/> (in Ukrainian).

Надійшла до редакції: 05.03.2025.

УДК 69.003.13

DOI: 10.30838/UJCEA.2312.270425.111.1167

## ОПТИМІЗАЦІЯ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ СПОРУДЖЕННЯ БУДІВЕЛЬ ІЗ УРАХУВАННЯМ МІНІМІЗАЦІЇ ВИТРАТ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ

МАТЮШЕНКО С. Ю.<sup>1\*</sup>, асп.

СОКОЛОВ І. А.<sup>2</sup>, докт. техн. наук, проф.

<sup>1\*</sup> 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 (098) 206-68-91, e-mail: [sergov.matyushenko@gmail.com](mailto:sergov.matyushenko@gmail.com), ORCID ID: 0000-0003-4434-6006

<sup>2</sup> Кафедра організації і управління будівництвом, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (067) 628-77-77, e-mail: [sokolov.igor@pdaba.edu.ua](mailto:sokolov.igor@pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0001-8366-4301

**Анотація. Постановка проблеми.** У цій статті розглядається важливість оптимізації будівельних рішень для економії енергії, яка є ключовим елементом для підвищення ефективності в будівельній індустрії. Значні перевитрати та затримки у будівельних проєктах часто пов'язані з неефективними організаційно-технологічними рішеннями, які не враховують важливі фактори такі як: ефективність енергетичних витрат, впровадження енергоефективних технологій і ресурсозберігаючих методів у процеси та етапи проєктування, будівництва й експлуатації будівель. Зниження витрат енергоресурсів – це комплексний підхід, що включає не лише економію електроенергії, а й раціональне використання теплової енергії, освітлення, палива та водних ресурсів. Аналіз енергоресурсів охоплює як природні та штучні джерела енергії, так і витрати на забезпечення інфраструктури, включаючи електроенергію, тепло, воду, газ та інші ресурси, необхідні для комфортного життя. Ця стаття зосереджується на розробці та впровадженні енергоефективних технологій і методів, спрямованих на мінімізацію витрат енергоресурсів на всіх етапах життєвого циклу будівництва – на стадії проєктування, будівництва та експлуатації будівель. **Мета дослідження.** Дослідження передбачає аналіз сучасної літератури, щодо енергоефективних практик, що застосовуються в будівельних проєктах. Це сприятиме детальному вивченню проблеми, визначенню основних викликів та пошуку можливостей для вдосконалення. Результати дослідження будуть спрямовані на скорочення загальних витрат, оптимізацію строків виконання проєктів і підвищення загальної ефективності будівельних процесів. **Висновки.** Результати дослідження, можуть стати корисними для вдосконалення організаційної структури будівництва, що сприятиме більш ефективному використанню ресурсів і оптимізацію технологічних процесів, що дозволить скоротити час виконання будівельних робіт без збільшення споживання енергоресурсів. Стаття вносить значний внесок у розуміння ключової ролі енергоресурсного менеджменту в сучасному будівництві та надає конкретні рекомендації для його вдосконалення.

**Ключові слова:** оптимізація; будівництво; мінімізація витрат; енергоресурси; ефективність; управління ресурсами; проєктування будівель; IoT

## OPTIMIZATION OF ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR THE CONSTRUCTION OF BUILDINGS WITH REGARD TO MINIMIZATION OF ENERGY CONSUMPTION

MATIUSHENKO S.Yu.<sup>1\*</sup>, Postgrad. Stud.,

SOKOLOV I.A.<sup>2</sup>, Dr. Sc. (Tech.), Prof.

<sup>1\*</sup> 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 (098) 206-68-91, e-mail: [sergov.matyushenko@gmail.com](mailto:sergov.matyushenko@gmail.com), ORCID ID: 0000-0003-4434-6006

<sup>2</sup> Department of Organisation and Management in Construction, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (067) 628-77-77, e-mail: [sokolov.igor@pdaba.edu.ua](mailto:sokolov.igor@pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0001-8366-4301

**Abstract. Problem statement.** This article discusses the importance of optimizing building solutions to save energy, which is a key element for improving efficiency in the construction industry. Significant cost overruns and delays in construction projects are often associated with inefficient organizational and technological solutions that do not take into account important factors such as energy efficiency, the introduction of energy efficient technologies and

resource-saving methods in the processes and stages of design, construction and operation of buildings. Reducing energy consumption is a comprehensive approach that includes not only saving electricity, but also the rational use of heat, lighting, fuel and water resources. The analysis of energy resources covers both natural and artificial energy sources and the costs of providing infrastructure, including electricity, heat, water, gas, and other resources necessary for a comfortable life. This article focuses on the development and implementation of energy-efficient technologies and methods aimed at minimizing energy costs at all stages of the construction life cycle – at the design, construction and operation of buildings. **The purpose of the study.** The study involves analyzing the current literature on energy efficient practices used in construction projects. This will facilitate a detailed study of the problem, identify the main challenges and find opportunities for improvement. The results of the study will be aimed at reducing overall costs, optimizing project implementation time and improving the overall efficiency of construction processes. **Conclusions.** The results of the study can be useful for improving the organizational structure of construction, which will contribute to more efficient use of resources and optimization of technological processes, which will reduce the time of construction work without increasing energy consumption. The article makes a significant contribution to the understanding of the key role of energy management in modern construction and provides specific recommendations for its improvement.

**Keywords:** *optimization; construction; cost minimization; energy resources; efficiency; resource management; building design; IoT*

**Постановка проблеми.** Сучасний стан енергетичної інфраструктури України, яка зазнала значних руйнувань через військові дії, вимагає ретельного аналізу та дослідження енергоефективності. Ця ситуація особливо загострила потребу у зменшенні енергоспоживання, оскільки системи енергопостачання, водопостачання та водовідведення працюють з перебоями або зазнали серйозних пошкоджень. У таких умовах впровадження енергоефективних рішень у будівництві стає не лише економічною необхідністю, а й критично важливим елементом для забезпечення стійкості, відновлення та стабільної роботи житлової та комунальної інфраструктури.

Проблеми з великим споживанням енергоресурсів в умовах сучасного будівництва та зростаючих вимог до енергоефективності, екологічності та економічності випробовують нас на досягнення нових горизонтів, що до оптимальних рішень і розв'язання складних завдань. Недостатнє впровадження енергоефективних рішень у проекти, недостатній рівень автоматизації та цифровізації, значні фінансові та енергетичні втрати через нераціональне планування етапів будівництва може призвести до низки негативних наслідків, як на рівні будівельної галузі, так і для суспільства, держави і людства в цілому.

Щоб вирішити ці проблеми, потрібно розробити організаційно-технологічні рішення для будівництва будівель, які забезпечуватимуть зниження споживання енергії та ресурсів, впровадження

енергоефективних технологій і ресурсозберігаючих методів у процеси на етапах проектування, будівництва й експлуатації будівель.

**Мета дослідження.** Метою цієї статті є всебічне дослідження та ідентифікація ефективних стратегій для покращення існуючих методів та розробка нових ефективних оптимізаційних рішень для будівництва будівель, які забезпечуватимуть зниження споживання енергії та ресурсів, мінімізуючи витрати на енергоносії та покращуючи екологічні показники будівель. Розробка оптимізаційних рішень, щодо використання енергоресурсів, що представляють собою комплекс природних і штучних матеріальних ресурсів, які використовуються для виробництва, перетворення та споживання енергії у різних формах, ретельний розгляд складових комплексу енергоресурсів, до якого входять ресурси, що мають потенціал для виробництва теплової, електричної, механічної або хімічної енергії, які задовольняють побутові, промислові, транспортні та інші потреби людства.

Аналіз енергоресурсів що представляють собою не лише природні та штучні ресурси, що використовуються для виробництва енергії, але й витрати, пов'язані з забезпеченням роботи інфраструктурних об'єктів, які створюють комфортні умови для життя, до таких витрат відносяться електроенергія, тепло, вода, газ та інші ресурси, що використовуються для опалення, освітлення, водопостачання та

підтримки житлових, транспортних і комунальних систем, необхідних для сучасного комфорту. Формування концепції що енергоресурси це ресурси, що сприяють покращенню екологічних показників, коли використовуються ефективно та з мінімальним впливом на навколишнє середовище.

**Аналіз публікацій.** Було розглянуто дослідження, опубліковане в “Molecular Diversity Preservation International” [1] Воно було зосереджене на аналізі ефективності двошарових фасадних елементів- double-skin façade elements (DSF) для багатоповерхових дерев'яних каркасних будівель з метою збільшення несучої функції. Це дослідження може відкрити нові перспективи в проєктуванні сучасних багатоповерхових дерев'яних будівель, розташованих у сейсмічних районах із сильними вітрами і з сильним асиметричним розташуванням прозорих скляних поверхонь. Також двошарові фасадні елементи можуть знизити потребу в енергії для опалення та забезпечити більше денного світла, сприяючи кращому комфорту проживання в будівлі. У статті зазначено потенційно корисні соціально-економічні ефекти результатів дослідження, оскільки вони можуть стимулювати будівництво багатоповерхових дерев'яних будівель, що дають змогу краще використовувати лісові масиви та сприяють зниженню впливу будівель на навколишнє середовище [1]. Схематичне зображення несучого елемента конструктивної стіни DSF, який забезпечує необхідну жорсткість і стійкість конструкції представлено на рисунку 1.

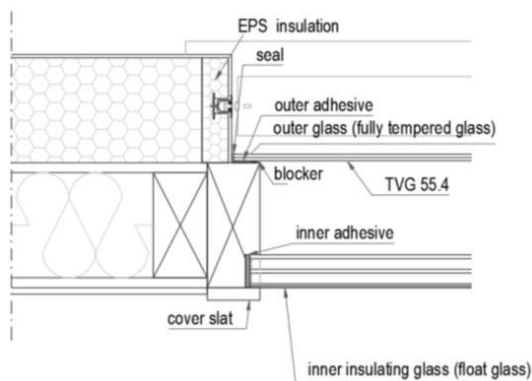


Рис. 1. Схематичне зображення несучого елемента конструктивної стіни DSF [ 6 ]

Двошарові фасадні елементи в минулому насамперед розробляли з метою істотного поліпшення теплового й акустичного опору оболонки будівлі [7]. Тому елементи DSF були запропоновані, як перспективна технологія пасивного будівництва для підвищення енергоефективності та поліпшення теплового комфорту в приміщенні [8]. Такий сконструйований елемент оболонки DSF демонструє кращий акустичний опір [9] і може бути підходящим для зон із високим рівнем шуму, де потрібен високий рівень звукоізоляції [10].

Підводячи висновки з аналізу дослідження М. Премрова і Козема Шилліха двошарові фасадні елементи (Double-Skin Façade, DSF) значно підвищують енергоефективність будівель завдяки своїй здатності оптимізувати теплообмін між зовнішнім середовищем та внутрішніми приміщеннями. Двошарові фасадні елементи забезпечують циркуляцію повітря між фасадними шарами, створюючи термічну буферну зону, що допомагає стабілізувати температуру всередині будівлі.

Інше дослідження [2], аналізує ефективність використання BIM технологій на етапі 6D за допомогою розробки моделі, яка може автоматично оцінювати енергоефективність та стійкість проєкту, дозволяючи проєктувальникам вибирати найкращий варіант дизайну [2; 11].

BIM дозволяє інтегрувати інструменти аналізу, які оцінюють ефективність різних проєктних рішень, таких як ізоляція, розташування вікон, орієнтація будівлі відносно сонця тощо. BIM-програми (наприклад Revit або ArchiCAD) інтегруються з інструментами аналізу енергоспоживання (EnergyPlus, Green Building Studio), дозволяючи симулювати споживання енергії, визначати теплові втрати та прогнозувати витрати.

Слід зазначити, що BIM передбачає еволюцію традиційних систем проєктування, заснованих на площині, оскільки вона включає геометричну інформацію (3D), час (4D), витрати (5D), екологічну та енергетичну стійкість (6D) і управління об'єктами (7D) [12]. BIM – це потужна методологія спільної роботи для

управління будівельними проєктами за допомогою цифрової моделі, яка дозволяє цим проєктам протягом усього їхнього життєвого циклу бути більш ефективними та стійкими [2].

Ця методологія дозволяє отримати енергетичну модель будівлі та її подальший аналіз, який відомий, як шостий вимір BIM або BIM 6D, де використовується інформація з попередніх вимірів, в основному визначення геометрії, будівельних матеріалів та обладнання [13]. Повертаючись до аналізу дослідження [2] можна ознайомитись що за допомогою програмного забезпечення REVIT було виконано геометричне та енергетичне моделювання Університетської лікарні Хаена (University Hospital of Jaén) (рис. 2).

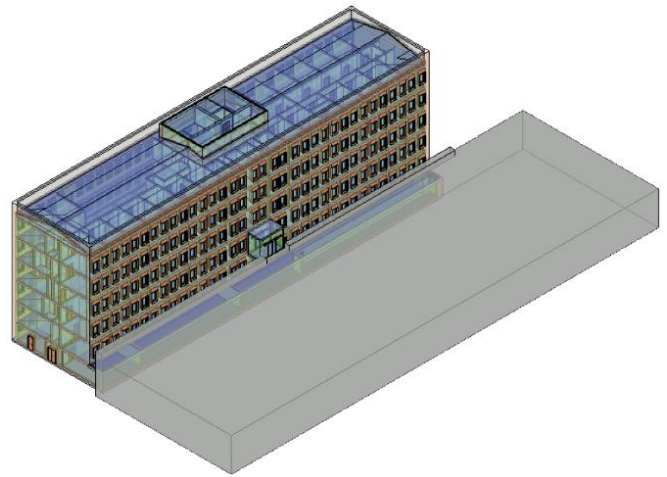


Рис. 2. Енергетична модель будівлі в REVIT [2]

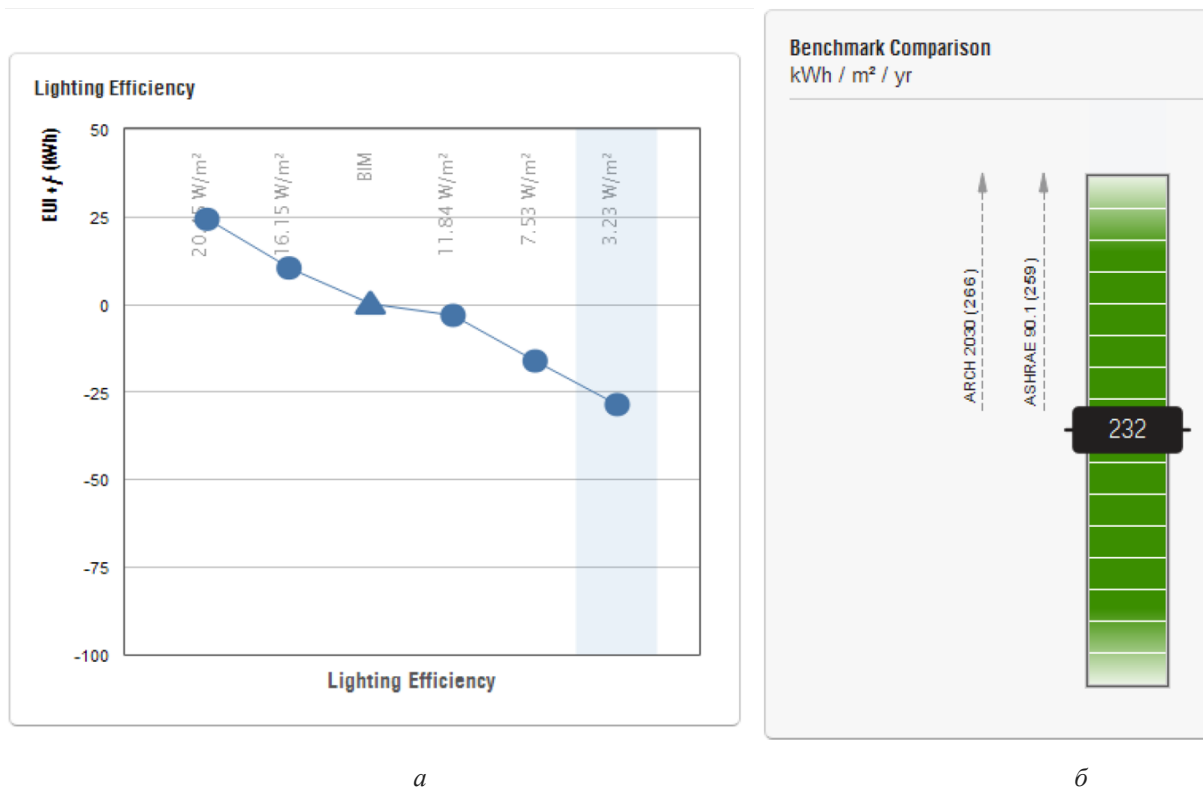


Рис. 3. а – діаграма з обраним поліпшенням опалення, вентиляція, кондиціювання повітря в програмному комплексі INSIGHT 360; б – результат, отриманий на платформі INSIGHT 360 для будівлі після застосування поліпшення кондиціювання повітря [2]

На основі даних, введених у модель BIM, і результатів, наданих програмним забезпеченням для енергетичного аналізу, у дослідженні [2] була виконана заміна у моделі системи кондиціювання повітря будівлі, яка дала свої позитивні результати.

Після удосконалення системи кондиціювання будівлі можна спостерігати економію енергозбереження:

61,09 кВт\*год./( $\text{m}^2$ рік) з підсумковим споживанням: 198,02 кВт\*год./( $\text{m}^2$  рік) [2].

Також слід відзначити що у рамках енергетичного моделювання у рамках даного дослідження було виконано удосконалення системи освітлення будівлі (система світлодіодного освітлення), яке дало змогу заощадити 26,8 кВт\*год./( $\text{m}^2$ рік) (рис. 3), покращення якості отворів в



огороджувальних конструкціях і зовнішня якість облицювання віконного скла (заміна поточних вікон з одним склом на подвійне скло з низьким рівнем випромінювання), яке дало змогу заощадити 8,66 кВт\*год./( $\text{м}^2$ рік), і інші удосконалення згідно з рисунків 4, 5.

| Поліпшення                         | Назва сценарію             | Споживання (кВт*год/м <sup>2</sup> рік) | Енергозбереження (кВт*год/м <sup>2</sup> рік) |
|------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Існуюча будівля                    | Існуюча будівля            | 259,11                                  | -                                             |
| Система кондиціювання              | HVAC                       | 198,02                                  | 61,09                                         |
| Система світлодіодного освітлення  | Світлодіодне освітлення    | 232,31                                  | 26,8                                          |
| Віконне скло                       | Віконне скло               | 250,45                                  | 8,66                                          |
| Система управління освітленням     | Денне освітлення та Осс.С. | 252,16                                  | 6,95                                          |
| Ефективна електроенергія           | Навантаження штекера       | 244,57                                  | 14,54                                         |
| Фотоелектричні панелі              | PV—панелі                  | 241,10                                  | 18,01                                         |
| Імітація глобального вдосконалення | Енергозберігаючий пакет    | 138,17                                  | 120,94                                        |

Рис. 4. Результати, отримані в різних проаналізованих сценаріях для будівлі [2]

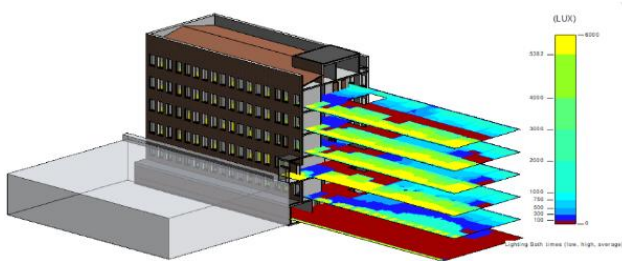


Рис. 5. Моделювання денного світла. Тривимірний вигляд аналізу освітленості в REVIT INSIGHT [2]

На основі проаналізованого дослідження можна зробити висновок, що ключовими і найпершими заходами з удосконалення була би оптимізація технологічних рішень, які стосуються систем опалення, вентиляції та кондиціювання, які напругу ведуть до мінімізації витрат енергоресурсів. Програмні комплекси, такі як REVIT, Insight 360 допомагають на основі енергетичного моделювання виявити найоптимальніші шляхи на шляху досягнення економії енергоресурсів. Також використання Insight 360, забезпечує оптимізацію денного світла та штучного освітлення в будівлях. Це дозволяє покращити комфорт для користувачів і зменшити енергетичні витрати.

В наступному дослідженні [3] розглядається оптимізація графіку виконання робіт за допомогою використання штучного інтелекту Deep Reinforcement Learning (DRL) із механізмом Valid Action Sampling (VAS). Стаття

досліджує впровадження DRL для вирішення проблеми планування будівництва з обмеженими ресурсами. Процес планування в дослідженні описується, як послідовний процес рішень з урахуванням чітких пріоритетів будівельних робіт. Механізм DRL з детальною інформацією про проект аналізує, обирає і визначає найбільш ефективні роботи, будівельні дії у певному порядку, оптимізуючи ефективність і прогрес проекту.

Графік виконання робіт є надзвичайно важливим у будь-якому проекті оскільки він допомагає визначити етапи реалізації проекту, встановити пріоритети та розподілити ресурси, дозволяє відстежувати виконання завдань у заплановані строки, уникати затримок і вчасно реагувати на проблеми. Критичні та правильні плани планування забезпечать чіткий і вільний від обмежень робочий процес для всіх робіт і підрядників на їхньому будівельному майданчику, що значно підвищує ефективність і зменшує загальну вартість. Щоб скласти графік будівництва, досвідчений планувальник із глибокими попередніми знаннями повинен ретельно обробляти всю інформацію з будівельного майданчика, а такий процес займає багато часу [14] саме тому використання алгоритмів програмного забезпечення і штучного інтелекту стає надзвичайно актуальним. Вони дозволяють автоматизувати аналіз даних, оптимізувати розподіл ресурсів і розробляти точні графіки робіт у значно коротші терміни. Штучний інтелект може враховувати безліч змінних, таких як доступність матеріалів, погодні умови, продуктивність робітників, та адаптувати графік у режимі реального часу, що мінімізує ризики затримок і перевитрат.

Науковці з Індії аналізували ефективність впровадження Технології Інтернету речей (IoT) в розумних будівлях [4] яка допомагає впровадити розумний моніторинг, управління та оптимізацію використання енергії. IoT-пристрої, такі як датчики та смарт-лічильники, забезпечують точне відстеження споживання енергії в реальному часі. Аналіз цих даних дозволяє виявляти неефективне використання енергії



та знаходити способи його скорочення. Розумні системи керування освітленням, клімат-контролем і обладнанням автоматично регулюють їх роботу відповідно до умов або розкладу, наприклад освітлення вимикається в порожніх приміщеннях, а опалення або кондиціонування зменшується, коли ніхто не перебуває у будівлі. Системи IoT дозволяють включати відновлювані джерела енергії, такі як сонячні батареї, в енергетичну мережу будівлі, таким чином забезпечуючи найкраще використання чистої енергії [15]. Інтеграція технології IoT з існуючою системою будівлі (рис. 6) покращує управління енергією в розумних будівлях, сприяючи безперебійному зв'язку між кількома системами будівель, щоб мінімізувати споживання енергії та підвищити стійкість [16].

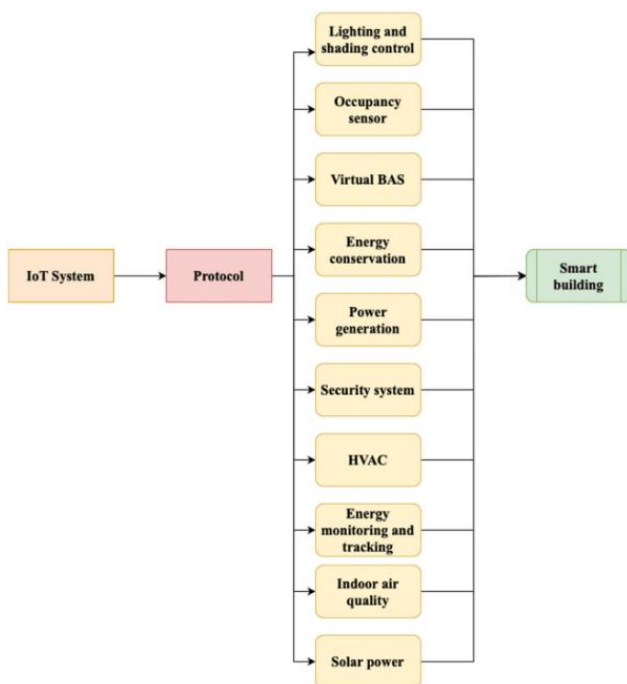


Рис. 6. Зв'язок IoT для пристроїв [4]

Технології Інтернету речей є одним із ключових методів і підходів до енергозбереження, завдяки інтелектуальному управлінню забезпечується більш ефективне споживання енергетичними ресурсами в різних сферах життя та діяльності. IoT завдяки моніторингу та накопиченню даних, що до витрат енергії полегшує аналіз та виявлення найслабших місць у енергоспоживанні будівлі. IoT-

пристрої, такі як датчики та смарт-лічильники, забезпечують підвищенню комфорту в повсякденному житті, створенню безпечнішого середовища та оптимізації виробничих процесів. Впровадження IoT допомагає не лише економити кошти, але й зменшувати екологічний вплив, що є критично важливим у контексті сучасних викликів, пов'язаних зі зміною клімату.

Результати дослідження [4] показали що за рахунок використання IoT можливе скорочення споживання енергії на 30 %, а з експлуатаційними витратами можливе скорочення до 20 %, однак також дослідження відмічають деякі проблеми пов'язані з великими початковими інвестиціями, проблемами безпеки даних і складністю системної інтеграції.

Наступним перспективним напрямом дослідження, щодо мінімізації витрат енергоресурсів, є аналіз і оцінка ефективності використання геотермального теплового насоса (ГТН) для забезпечення опалення та охолодження. У аналітичному дослідженні [5] зазначається, що ефективність ГТН складає 300–500 % тепла, що виділяється на використану електроенергію, у порівнянні з традиційними обігрівачами, що працюють на спалюванні, або електричними обігрівачами, де ефективність ніколи не перевищує 100 %. Однак ГТН страждають від вищих початкових витрат на свердління та встановлення, ніж інші конкуруючі технології опалення.

На рисунку 7 показана схематична діаграма систем ГТН. Тепло ґрунту передається спочатку від тіла породи до стінки свердловини, а потім до циркулюючого теплоносія. По-друге, циркулюючий теплоносіє, у свою чергу, передає витягнуту з землі енергію теплому насосу на поверхні. Нарешті, тепловий насос використовує електроенергію для модернізації та переміщення теплової енергії від контуру заземлення до водяної рециркуляційної системи опалення, яка кондиціонує приміщення [5].

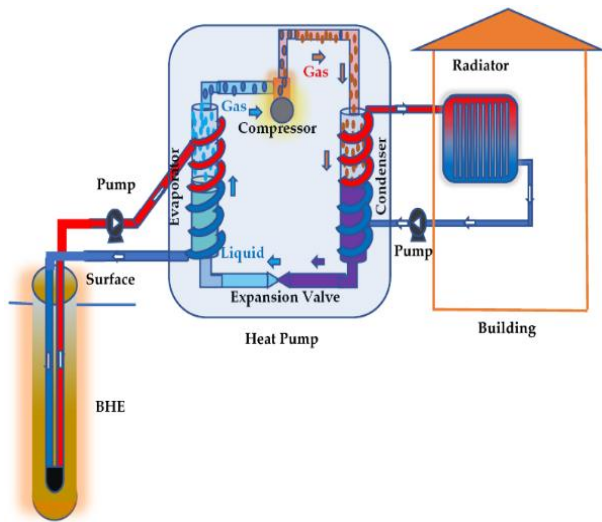


Рис. 7. Принципова схема потоку систем ГТН для моделі опалення (режим охолодження з реверсним потоком) [5]

В огляді акцентується увага на аналізі використання геотермального опалення і занадто низьке використання в порівнянні з іншими джерелами. Звіт МЕА (2021) показує, що світові запаси теплових насосів зростали приблизно на 10 % на рік протягом 2015–2020 років.

Це зростання призвело до того, що станом на червень 2020 року в Європі було встановлено понад 2,1 мільйона геотермальних теплових насосів [17]. Новий стимул для теплових насосів і мета встановлення 600 000 теплових насосів, щороку у Великобританії сприятимуть швидкому зростанню цієї кількості в найближчі роки [18]. Далла Лонга та ін. прогнозують, що до 2050 року виробництво тепла геотермальної енергії досягне приблизно 100–210 ТВт-год./рік [19].

За результатами статті [5] можна зробити висновки, що використання геотермального теплового насоса є перспективним напрямком дослідження однак реалізація таких технологій пов'язана з низкою технічних, економічних та екологічних викликів, які потребують глибокого аналізу.

**Наукова новизна.** Дослідження полягає у глибокому аналізі та порівнянні методів і шляхів, щодо економії енерговитрат. Такий підхід дозволяє оптимізувати і використовувати найбільш ефективні методи в залежності від вихідних параметрів та задач. Проаналізовані у цій

статті дослідження дають змогу розуміти, що при необхідності реалізації одного і того проекту в різних зовнішніх умовах необхідно впроваджувати і індивідуальні найбільш ефективні організаційно-технологічні рішення для кожного із них, які дозволяють зменшити витрати енергоресурсів.

Застосування Інтернет речей (IoT) та штучного інтелекту дозволяє оптимізувати витрати енергоресурсів під час експлуатації будівель, в залежності від виду та призначення будівель встановлюються окремі параметри, щодо ефективного споживання в автономному режимі. Але складність та значні інвестиції потребують більш детального аналізу та розрахунків, щодо ефективності в кожному окремому випадку будівництва.

Використання двошарових фасадних елементів може буди ефективними та енергозберігаючими. У регіонах з екстремальними температурами (холодними або спекотними), двошарові фасади зменшують тепловтрати взимку та перегрівання влітку. Вони створюють тепловий бар'єр між внутрішніми приміщеннями та зовнішнім середовищем. Двошарові фасади забезпечують додаткову звукоізоляцію, що є важливим у районах з високим рівнем шуму. Але у регіонах із помірним або теплим кліматом, де тепловтрати або перегрівання не є критичними, ефективність двошарових фасадів може бути мінімальною і також не варто забувати про високу вартість устаткування та обслуговування. Тому ключову роль тут відіграють подальші дослідження та розрахунки, щодо аналізу та оптимізаційних рішення, що до доцільності використання двошарових фасадних елементів в залежності від проекту та кліматичних умов.

Користь від впровадження БІМ-технологій залишається без сумнівів, практичне використання будівельних інформаційних моделей не раз це доводило. Найбільш знакові приклади використання можна привести у Лондоні при реалізації одного із найбільших інфраструктурних проектів Європи. БІМ використовували для інтеграції дизайну, планування та

будівництва нової залізничної лінії Crossrail та High-Speed Rail 2, в результаті вдалося скоротити витрати, знизити ризики, підвищити точність проектування та забезпечити надійність. Також вдалося забезпечити вдосконалення енергоефективності нових будівель, таких як хмарочос The Shard, а реставрація Букінгемського палацу включала цифрові моделі, що дозволили уникнути помилок. Виходячи із цього на сьогодні ключовими задачами є впровадження BIM-технологій в Україні.

Дослідження впровадження штучного інтелекту у процес складання графіків виконання будівельних робіт слугує основою для вдосконалення методів планування та управління будівельними проектами. Календарний графік будівельних робіт є ключовим інструментом управління проектом, оскільки забезпечує чітке планування строків, координацію дій між учасниками, оптимальне використання ресурсів і контроль витрат. Він допомагає уникати затримок, мінімізувати ризики та забезпечувати високу якість виконання робіт. Завдяки графіку проект стає більш організованим, а комунікація між усіма сторонами - прозорою та ефективною.

На шляху оптимізації організаційно-технологічних рішень із врахуванням мінімізації витрат енергоресурсів правильно складений графік виконання робіт відіграє ключову роль. Дослідження та вдосконалення цього процесу є надзвичайно важливим для забезпечення ефективності будівельних проектів і сталого використання ресурсів. І не менш важливим є подальше дослідження геотермального опалення, оскільки цей метод забезпечує енергоефективність та екологічність, що є актуальними викликами сучасного будівництва.

**Загальні висновки.** Застосування новітніх технологій таких, як IoT у поєднанні з алгоритмами штучного інтелекту, дозволяє здійснювати моніторинг і управління енергоспоживанням. Штучний інтелект аналізує безліч варіантів конструкцій, матеріалів і планувань, і допомагає за короткий час визначити найоптимальніший

порядок виконання робіт, щоб знайти найбільш енергоефективні рішення, ще на етапі проектування, наприклад, алгоритми оцінюють тепловтрати, інсоляцію, вентиляцію та пропонують зміни для покращення ефективності. Розробка та впровадження інноваційних рішень є критично важливим для досягання ефективного енергоспоживання на етапах проектування, будівництва й експлуатації будівель. Проаналізовані дослідження, рекомендації та методики, наведені в цій статті, можуть стати цінними для організацій, які прагнуть оптимізувати організаційно-технологічні рішення щодо спорудження будівель із урахуванням мінімізації витрат енергоресурсів. Застосування цих підходів сприятиме підвищенню ефективності управління проектами та покращенню загальних показників діяльності.

Мінімізація витрат енергоресурсів це комплексний підхід, який охоплює не лише електроенергію, але також і оптимізацію використання теплової енергії, світлових ресурсів, палива та води. Розглянуті рішення демонструють, що інновації в будівництві дозволяють ефективно знижувати енергоспоживання на різних етапах будівництва та експлуатації будівель. Слід відмітити, що мінімізація витрат енергоресурсів досягається через зменшення потреби в енергії для опалення та охолодження будівлі, зменшення тепловтрат при використанні більш ефективних сучасних матеріалів із високими ізоляційними властивостями, електроенергії для обладнання, пального для будівельної техніки. А також зменшення використання електроенергії, необхідної для роботи систем освітлення й обладнання завдяки таким простим фундаментальним методам, як більшому доступу до природного освітлення, шляхом правильного розташування будівлі відносно сонця, а також через автоматизацію приладів і керування штучним інтелектом.

Подальші дослідження передбачають розгляд інших сучасних методів оптимізації, які також відіграють важливу роль у мінімізації витрат енергоресурсів. Оптимізація організаційно-технологічних

рішень спорудження будівель із урахуванням мінімізації витрат енергоресурсів також можлива завдяки інтеграції сонячних панелей у дизайн будівлі, вибір відповідних матеріалів і конструкцій для зменшення відбивання сонячного випромінювання та покращення його поглинання, використання сонячних геліосистем для нагріву води чи підтримання температури в басейнах, оптимізація роботи ліфтів, ескалаторів і систем вентиляції за рахунок правильного планування, використання енергоефективного обладнання (ліфтів із функцією рекуперації енергії під час спуску), управління механічними системами через розумні датчики для зменшення непотрібного використання, впровадження систем збору дощової води чи повторного використання «сірих» стоків, мінімізація відходів будівельних матеріалів і використання місцевої сировини, переробка матеріалів після закінчення життєвого циклу будівлі.

На основі розглянутих матеріалів можна виділити наступні основні фактори, які впливають на оптимізацію організаційно-технологічних рішень спорудження будівель із урахуванням мінімізації витрат енергоресурсів: кваліфікація проектною команди, яка забезпечує якісні рішення для мінімізації витрат енергоресурсів, залучення підрядників з досвідом в енергоефективному будівництві, використання BIM-технологій, сучасні методи управління будівництвом і використання штучного інтелекту та автоматизованих систем, технології будівництва, які включають модульні та інноваційні методи та скорочують ресурси, необхідні для будівництва, логістика постачання матеріалів, Оптимізована або автоматизована логістика дозволяє зменшити витрати пального, час на доставку, а також знизити вплив на навколишнє середовище.

Ефективна логістика постачання матеріалів сприяє зменшенню витрат не тільки на транспортування, але й на весь будівельний процес: скорочення енергозатрат на складування завдяки оптимізації обсягів замовлень, зниження викидів CO<sub>2</sub>, що сприяє екологічній відповідальності будівництва, підвищення ефективності використання часу, що дозволяє завершувати проєкти швидше та дешевше.

Оптимізована логістика є невід'ємною частиною сучасних підходів до енергозбереження у будівельній галузі та повинна бути інтегрована у процес проектування й управління.

**Перспективи.** Енергоефективність має безліч переваг. По-перше, впровадження сучасних технологій і методів дозволяє знизити витрати на реалізацію проєкту та підвищити ефективність будівельного процесу.

Крім того, застосування енергоефективних матеріалів, обладнання та техніки сприяє зменшенню негативного впливу на довкілля. У результаті енергоефективне будівництво сприяє поліпшенню якості повітря, мінімізує вплив кліматичних змін і створює комфортніші умови всередині будівель.

Енергоефективність можна уявити як «збережену енергію» або навіть як найдоступніший ресурс на будівельному майданчику. Тому кожна оптимізаційна стратегія, спрямована на зниження енергоспоживання, сприяє впровадженню принципів енергоефективного будівництва.

Подальші дослідження повинні зосередитись на створенні підходів щодо визначення найоптимальніших шляхів в залежності від зовнішніх факторів середовища та цілей проєкту, які дозволяють зменшити енергоспоживання під час зведення об'єктів і їх експлуатацію.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Premrov M., Kozem Šilih E. Numerical analysis of the racking behaviour of multi-storey timber-framed buildings considering load-bearing function of double-skin façade elements. *Sustainability*. 2023. № 15. P. 6379. URL: <https://doi.org/10.3390/su15086379>

2. Francisco Javier Montiel-Santiago, Manuel Jesús Hermoso-Orzáez, Manuel Jesús Hermoso-Orzáez. Sustainability and Energy Efficiency : BIM 6D. Study of the BIM methodology applied to hospital buildings. Value of interior lighting and daylight in energy simulation. *Sustainability*. 2020. № 12 (14). P. 5731. URL: <https://doi.org/10.3390/su12145731>
3. Yuan Yao, Vivian W. Y. Tam, Jun Wang, Khoa N. Le, Anthony Butera. Automated construction scheduling using deep reinforcement learning with valid action sampling. *Automation in Construction* Volume. 2024. № 166. P. 105622. URL: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105622>
4. Mukilan Poyyamozi, Balasubramanian Murugesan, Narayanamoorthi Rajamanickam, Mohammad Shorfuzzaman, Yasser Aboelmag. IOT — a promising solution to energy management in smart buildings : a systematic review, applications, barriers, and future scope. *Buildings*. 2024. № 14 (11). P. 3446. URL: <https://doi.org/10.3390/buildings14113446>
5. Abdelazim Abbas Ahmed, Mohsen Assadi, Adib Kalantar, Tomasz Sliwa, Aneta Sapinska-Sliwa. A critical review on the use of shallow geothermal energy systems for heating and cooling purposes. *Energies*. 2022. № 15 (12). P. 4281. URL: <https://doi.org/10.3390/en15124281>
6. Šilih E. K., Premrov M. Numerical study of racking resistance of timber-made double-skin façade elements. *Adv. Prod. Eng. Manag.* 2022. № 17. Pp. 231–242. URL: <https://doi.org/10.3390/su15086379>
7. Chan A. L. S., Chow T. T., Fong K. F., Lin Z. Investigation on energy performance of double skin façade in hong kong. *Energy Build.* 2009. № 41. Pp. 1135–1142. URL: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.05.012>
8. Saelens D., Roels S., Hens H. Strategies to improve the energy performance of multiple-skin facades. *Build. Environ.* 2008. № 43. Pp. 638–650. URL: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.06.024>
9. Ali Ghaffarianhoseini, Amirhosein Ghaffarianhoseini, Umberto Berardi, John Tookey, Danny Hin Wa Li, Shahab Kariminia. Exploring the advantages and challenges of double-skin façades (DSFs). *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2016. № 60. Pp. 1052–1065. URL: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.130>
10. Huckemann V., Leão É. B., Leao M. Acoustic comfort in office buildings with double skin glass façades. *Bauphysik*. 2009. № 31. Pp. 305–312. URL: <https://doi.org/10.1002/bapi.200910040>
11. Yung P., Wang X. A 6D cad model for the automatic assessment of building sustainability. *Int. J. Adv. Robot. Syst.* 2014. № 11. Pp. 531–540. URL: <https://doi.org/10.5772/58446>
12. BuildingSMART Spanish Chapter. URL: <https://www.buildingsmart.es/bim/> (дата звернення: 24.05.2020).
13. Wang X., Yung P., Lou H. B., Trujiens M. An innovative method for project control in lng project through 5d cad: a case study. *Autom. Constr.* 2014. № 45. Pp. 126–135. URL: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.05.011>
14. Amer F., Koh H. Y., Golparvar-Fard M. Automated methods and systems for construction planning and scheduling: critical review of three decades of research. *J. Constr. Eng. Manag.* 2021. № 147 (7). Pp. 1–17. URL: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0002093](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0002093)
15. Karuna G., Ediga P., Akshatha S., Anupama P., Sanjana T., Mittal A., Rajvanshi S., Habelalmateen M. I. Smart energy management : real-time prediction and optimization for iot-enabled smart homes. *Cogent Eng.* 2024. № 11. URL: <https://doi.org/10.1080/23311916.2024.2390674>
16. Akhtar S. W., Rehman S., Akhtar M., Khan M. A., Riaz F., Chaudry Q., Young R. Improving the robustness of neural networks using k-support norm based adversarial training. *IEEE Access*. 2016. № 4. Pp. 9501–9511. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7795200>
17. Garabetian T. EGECE Geothermal Market Report. European Geothermal Energy Council : Bruxelles, Belgium, 2021. URL: [https://scholar.google.com/scholar\\_lookup?title=EGECE+Geothermal+Market+Report&author=Garabetian,+T.&publication\\_year=2021](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=EGECE+Geothermal+Market+Report&author=Garabetian,+T.&publication_year=2021)
18. Meek C. Heat pumps and uk's decarbonization : lessons from an ofgem dataset of more than 2000 domestic installations. In *Context-Methodology-Analysis-Discussion-Recommendations*. Spring 2021; RECC: London, UK, 2021. URL: <https://www.recc.org.uk/pdf/performance-data-research-focused.pdf>
19. Longa F. D., Nogueira L. P., Limberger J., van Wees J.-D., van der Zwaan B. Scenarios for geothermal energy deployment in Europe. *Energy*. 2020. № 206. P. 118060. URL: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118060>

## REFERENCES

1. Premrov M. and Kozem Šilih E. Numerical analysis of the racking behaviour of multi-storey timber-framed buildings considering load-bearing function of double-skin façade elements. *Sustainability*. 2023, no. 15, p. 6379. URL: <https://doi.org/10.3390/su15086379>
2. Francisco Javier Montiel-Santiago, Manuel Jesús Hermoso-Orzáez and Manuel Jesús Hermoso-Orzáez. Sustainability and energy efficiency : BIM 6D. Study of the BIM methodology applied to hospital buildings. Value of interior lighting and daylight in energy simulation. *Sustainability*. 2020, no. 12 (14), p. 5731. URL: <https://doi.org/10.3390/su12145731>
3. Yuan Yao, Vivian W.Y. Tam, Jun Wang, Khoa N. Le and Anthony Butera. Automated construction scheduling using deep reinforcement learning with valid action sampling. *Automation in Construction*. 2024, no. 166, p. 105622. URL: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105622>
4. Mukilan Poyyamozi, Balasubramanian Murugesan, Narayanamoorthi Rajamanickam, Mohammad Shorfuzzaman and Yasser Aboelmag. IOT — a promising solution to energy management in smart buildings : a

systematic review, applications, barriers, and future scope. *Buildings*. 2024, no. 14 (11), p. 3446. URL: <https://doi.org/10.3390/buildings14113446>

5. Abdelazim Abbas Ahmed, Mohsen Assadi, Adib Kalantar, Tomasz Sliwa and Aneta Sapinska-Sliwa. A critical review on the use of shallow geothermal energy systems for heating and cooling purposes. *Energies*. 2022, no. 15 (12), p. 4281. URL: <https://doi.org/10.3390/en15124281>

6. Šilih E.K. and Premrov M. Numerical study of racking resistance of timber-made double-skin façade elements. *Adv. Prod. Eng. Manag.* 2022, no. 17, pp. 231–242. URL: <https://doi.org/10.3390/su15086379>

7. Chan A.L.S., Chow T.T., Fong K.F. and Lin Z. Investigation on energy performance of double skin façade in hong kong. *Energy Build.* 2009, no. 41, pp. 1135–1142. URL: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.05.012>

8. Saelens D., Roels S., Hens H. Strategies to improve the energy performance of multiple-skin facades. *Build. Environ.* 2008, no. 43, pp. 638–650. URL: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.06.024>

9. Ali Ghaffarianhoseini, Amirhosein Ghaffarianhoseini, Umberto Berardi, John Tookey, Danny Hin Wa Li and Shahab Kariminia. Exploring the advantages and challenges of double-skin façades (DSFs). *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2016, no. 60, pp. 1052–1065. URL: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.130>

10. Huckemann V., Leão É.B. and Leao M. Acoustic comfort in office buildings with double skin glass façades. *Bauphysik*. 2009, no. 31, pp. 305–312. URL: <https://doi.org/10.1002/bapi.200910040>

11. Yung P. and Wang X. A 6D cad model for the automatic assessment of building sustainability. *Int. J. Adv. Robot. Syst.* 2014, no. 11, pp. 531–540. URL: <https://doi.org/10.5772/58446>

12. BuildingSMART Spanish Chapter. URL: <https://www.buildingsmart.es/bim/> (accessed on 24 April 2020).

13. Wang X., Yung P., Lou H. B. and Trujiens M. An innovative method for project control in lng project through 5d cad : a case study. *Autom. Constr.* 2014, no. 45, pp. 126–135. URL: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.05.011>

14. Amer F., Koh H.Y. and Golparvar-Fard M. Automated methods and systems for construction planning and scheduling: critical review of three decades of research. *J. Constr. Eng. Manag.* 2021, no. 147 (7), pp. 1–17. URL: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0002093](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0002093)

15. Karuna G., Ediga P., Akshatha S., Anupama P., Sanjana T., Mittal A., Rajvanshi S. and Habelalmateen M.I. Smart energy management : real-time prediction and optimization for iot-enabled smart homes. *Cogent Eng.* 2024, no. 11. URL: <https://doi.org/10.1080/23311916.2024.2390674>

16. Akhtar S.W., Rehman S., Akhtar M., Khan M.A., Riaz F., Chaudry Q. and Young R. Improving the robustness of neural networks using k-support norm based adversarial training. *IEEE Access*. 2016, no. 4, pp. 9501–9511. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7795200>

17. Garabetian T. EGECE Geothermal Market Report. European Geothermal Energy Council : Bruxelles, Belgium, 2021. URL: [https://scholar.google.com/scholar\\_lookup?title=EGECE+Geothermal+Market+Report&author=Garabetian,+T.&publication\\_year=2021](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=EGECE+Geothermal+Market+Report&author=Garabetian,+T.&publication_year=2021)

18. Meek C. Heat pumps and uk's decarbonisation: lessons from an ofgem dataset of more than 2000 domestic installations. In *Context-Methodology-Analysis-Discussion-Recommendations*; Spring 2021; RECC : London, UK, 2021. URL: <https://www.recc.org.uk/pdf/performance-data-research-focused.pdf>

19. Longa F.D., Nogueira L.P., Limberger J., van Wees J.-D. and van der Zwaan B. Scenarios for geothermal energy deployment in Europe. *Energy*. 2020, no. 206, p. 118060. URL: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118060>

Надійшла до редакції: 12.05.2025.



УДК 351.778.5:620.91

DOI: 10.30838/UJCEA.2312.270425.122.1168

## РОЗРОБКА ПРОПОЗИЦІЙ ЩОДО ВДОСКОНАЛЕННЯ ДЕРЖАВНОЇ ПОЛІТИКИ В СФЕРІ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЖИТЛОВОГО ФОНДУ

ПАПІРНИК Р. Б.<sup>1\*</sup>, канд. техн. наук, доц.,

ДІКАРЕВ К. Б.<sup>2</sup>, канд. техн. наук, доц.,

КАТАЄВ А. С.<sup>3</sup>, асп.,

КОВАЛЬ В. В.<sup>4</sup>, маг.,

КАМЕНЄВ О. С.<sup>5\*</sup>, канд. техн. наук

<sup>1\*</sup> Кафедра технології будівельного виробництва, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-33-51, e-mail: [ruslan.b.papirnyk@pdaba.edu.ua](mailto:ruslan.b.papirnyk@pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0001-7153-9378

<sup>2</sup> Кафедра технології будівельного виробництва, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-33-51, e-mail: [dikarev.kostiantyn@pdaba.edu.ua](mailto:dikarev.kostiantyn@pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0001-9107-3667

<sup>3</sup> Кафедра технології будівельного виробництва, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-33-51, e-mail: [kataev2712@ukr.net](mailto:kataev2712@ukr.net), ORCID ID: 0009-0000-6303-1216

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

<sup>5</sup> Запорізький будівельний фаховий коледж, вул. Незалежної України, 43, 69019, Запоріжжя, Україна, тел. + 38 (061) 226-83-83, e-mail: [kamenev\\_zbk@ukr.net](mailto:kamenev_zbk@ukr.net), ORCID ID: 0000-0002-9279-7883

**Анотація. Постановка проблеми.** Енергоефективність житлового фонду є однією з найважливіших складових сталого розвитку України, особливо в умовах підвищення тарифів на енергоресурси та глобальних екологічних викликів. Державна політика в цій сфері має на меті зменшення енергетичних витрат, підвищення якості житла та покращення умов життя громадян. Актуальність теми зумовлена необхідністю розробки комплексних заходів, які забезпечать ефективне використання енергоресурсів, адаптацію будівель до нових технологій та впровадження інноваційних рішень. Основними напрямками вдосконалення державної політики є формування інвестиційних програм для модернізації житлового фонду, впровадження системи фінансування енергоефективних проєктів через державні та місцеві бюджети, а також залучення міжнародних фінансових установ. Крім того, важливо забезпечити інформаційно-просвітницькі кампанії для населення щодо переваг енергоефективності, розробити механізми стимулювання підприємств і громадян до впровадження енергоефективних технологій. Впровадження нових стандартів будівництва, які враховують екологічні та енергоефективні норми, стане запорукою сталого розвитку житлового фонду. **Метою статті** є аналіз існуючих проблем у сфері енергоефективності житлового фонду в Україні та пропозиція заходів, які можуть підвищити ефективність державної політики в цій сфері. **Висновок.** Державна політика в сфері енергоефективності житлового фонду є ключовим фактором, що впливає на стабільність і розвиток енергетичного сектора в Україні. Розробка і реалізація комплексних заходів, спрямованих на підвищення енергоефективності, підтримку інвестицій, а також популяризацію екологічних норм, створить умови для зниження енергетичних витрат населення та підвищення якості житла. Вдосконалення механізмів фінансування та співпраця з міжнародними організаціями дозволять забезпечити стійкий розвиток будівельного сектора та адаптувати житловий фонд до сучасних вимог енергоефективності.

**Ключові слова:** державна політика; енергоефективність; житловий фонд; інвестиції; модернізація; екологічні норми; фінансування; інформаційні кампанії; енергетичні витрати; сталий розвиток

## DEVELOPMENT OF PROPOSALS FOR IMPROVING STATE POLICY IN THE FIELD OF ENERGY EFFICIENCY OF THE HOUSING STOCK

PAPIRNYK R.B.<sup>1\*</sup>, PhD. (Tech.), Assoc. Prof.,

DIKAREV K.B.<sup>2</sup>, PhD. (Tech.), Assoc. Prof.,

KATAEV A.S.<sup>3</sup>, Postgrad. Stud.,



KOVAL V.V.<sup>4</sup>, *Master's degree holder*  
KAMIENIEV O.S.<sup>5</sup>, *Cand. Sc. (Tech.)*

<sup>1\*</sup> Department of Construction Technologies, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (056) 756-33-51, e-mail: [ruslan.b.papirnyk@pdaba.edu.ua](mailto:ruslan.b.papirnyk@pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0001-7153-9378

<sup>2</sup> Department of Construction Technologies, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (056) 756-33-51, e-mail: [dikarev.kostiantyn@pdaba.edu.ua](mailto:dikarev.kostiantyn@pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0001-9107-3667

<sup>3</sup> Department of Construction Technologies, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (056) 756-33-51, e-mail: [kataev2712@ukr.net](mailto:kataev2712@ukr.net), ORCID ID: 0009-0000-6303-1216

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

<sup>5</sup> Zaporizhzhia Construction Vocational College, 43, Nezalezhnoyi Ukrainy St., Zaporizhzhia, 69019, Ukraine, tel. +38 (061) 226-83-83, e-mail: [kamenev\\_zbk@ukr.net](mailto:kamenev_zbk@ukr.net), ORCID ID: 0000-0002-9279-7883

**Abstract. Problem Statement.** Energy efficiency of the housing stock is one of the most important components of sustainable development in Ukraine, especially in the context of rising energy resource tariffs and global environmental challenges. State policy in this area aims to reduce energy costs, improve housing quality, and enhance citizens' living conditions. The relevance of the topic is determined by the need to develop comprehensive measures that ensure the effective use of energy resources, adapt buildings to new technologies, and implement innovative solutions. The main directions for improving state policy include the formation of investment programs for the modernization of the housing stock, the introduction of a financing system for energy-efficient projects through state and local budgets, as well as the involvement of international financial institutions. Additionally, it is important to ensure informational and educational campaigns for the population regarding the benefits of energy efficiency, as well as to develop mechanisms to encourage businesses and citizens to implement energy-efficient technologies. The introduction of new construction standards that take into account environmental and energy-efficient norms will become a guarantee of sustainable development for the housing stock. The purpose of this article is to analyze existing problems in the field of energy efficiency of the housing stock in Ukraine and propose measures that can enhance the effectiveness of state policy in this area. **Conclusion.** State policy in the field of energy efficiency of the housing stock is a key factor influencing the stability and development of the energy sector in Ukraine. The development and implementation of comprehensive measures aimed at increasing energy efficiency, supporting investments, and promoting ecological norms will create conditions for reducing energy costs for the population and improving housing quality. Improving financing mechanisms and cooperating with international organizations will ensure the sustainable development of the construction sector and adapt the housing stock to modern energy efficiency requirements.

**Keywords:** *state policy; energy efficiency; housing stock; investments; modernization; ecological norms; financing; informational campaigns; energy costs; sustainable development*

**Постановка проблеми.** Енергоефективність житлового фонду в Україні є критично важливим аспектом, що визначає не лише якість життя громадян, але й економічну стабільність держави в цілому. З огляду на постійне зростання цін на енергоресурси та погіршення екологічної ситуації, потреба в удосконаленні державної політики в цій сфері стає все більш актуальною.

Сьогодні існує безліч проблем, які стримують розвиток енергоефективності, серед яких можна виділити недостатню інвестиційну активність, брак інформаційної підтримки для населення, а також неефективні механізми фінансування проектів у сфері енергозбереження.

Державна політика в сфері енергоефективності повинна бути

комплексною і враховувати різноманітні аспекти, такі як стимулювання інвестицій, запровадження нових технологій, а також забезпечення належного рівня соціального захисту населення. Проте, незважаючи на численні зусилля, ефективність цих заходів залишається на низькому рівні. Серед основних проблем, що потребують термінового вирішення, варто зазначити необхідність інтеграції міжнародного досвіду, впровадження сучасних стандартів у будівництві та забезпечення підтримки з боку держави для реалізації енергоефективних проектів.

Таким чином, розробка пропозицій щодо вдосконалення державної політики в сфері енергоефективності житлового фонду є важливим завданням, що сприятиме не лише підвищенню якості

житла, але й забезпеченню сталого розвитку енергетичного сектора в Україні.

**Аналіз публікацій.** Напрямок дослідження є актуальним у сучасних умовах, коли зростання цін на енергоресурси та необхідність їх раціонального використання вимагають системних змін у нормативно-правовій базі. Оптимізація державної політики в цій сфері сприятиме підвищенню енергоефективності житлових будівель, що, у свою чергу, зменшить витрати домогосподарств на комунальні послуги та знизить навантаження на енергетичну систему країни.

Дослідження даного питання можна спостерігати у працях українських дослідників, таких як Н. П. Чучалін, О. В. Комнеліна, С. А. Щербиніна та ін. У їхніх роботах розглядаються різні аспекти енергоефективності, включаючи вдосконалення нормативного регулювання, впровадження фінансових механізмів стимулювання енергомодернізації, а також використання інноваційних технологій у будівництві та реконструкції житлового фонду.

Аналіз наукових праць дозволяє визначити ключові напрямки вдосконалення державної політики у сфері енергоефективності житлового фонду. Зокрема, увага дослідників зосереджена на необхідності розробки більш ефективних механізмів фінансової підтримки для громадян, стимулювання залучення приватних інвестицій у модернізацію будівель та створення сприятливих умов для розвитку ринку енергоефективних технологій.

**Виклад матеріалу.** Надмірне та неефективне використання пального й енергетичних ресурсів становить одну з основних проблем для України. Війна, що почалася 24 лютого 2022 року, завдала величезних руйнувань по всій країні та серйозно вплинула на економіку. Багато населених пунктів і об'єктів житлового та енергетичного сектору було знищено, а агресія Росії продовжує цілеспрямовано вражати критичну інфраструктуру. У нинішніх умовах Україна повністю залежить від міжнародної допомоги, не

спроможна задовольнити свої потреби без зовнішніх ресурсів.

При цьому житловий фонд залишається надзвичайно енергоємним, споживаючи близько третини загального енергетичного споживання країни. Згідно з матеріалами робочої групи «Будівництво, містобудування, модернізація міст та регіонів України» в Плані відновлення, сектор будівництва забезпечує близько 40 % загального споживання енергії, а також має відповідну частку викидів парникових газів.

Національний житловий фонд характеризується високим ступенем зношеності та неефективністю. Приблизно 85 % житлових будівель в Україні було зведено до 1990 року за стандартами, які не відповідають сучасним вимогам енергоефективності. Більшість цих будинків фізично зношені та потребують термінового оновлення, оскільки в них майже не проводилися заходи щодо підвищення енергоефективності. За даними Центру «Нова соціальна та економічна політика», енергоспоживання на одиницю житлової площі в Україні вдвічі перевищує аналогічні показники в країнах ЄС з подібними кліматичними умовами.

Темпи термомодернізації будівель в Україні залишаються надзвичайно низькими у порівнянні з європейськими стандартами, де показники становлять 0,4-1,2 % на рік, в той час як Європейська Комісія має намір підвищити ці темпи до 3 %.

Таким чином, Україні необхідно прискорити впровадження енергоефективних заходів у житловому секторі, особливо в процесі післявоєнного відновлення. Масштабна реконструкція житлового фонду має ґрунтуватися на сучасних принципах енергозбереження, що дозволить мінімізувати втрати енергії та підвищити загальну стійкість енергетичної системи країни. Комплексний підхід до впровадження енергоефективних технологій сприятиме оптимізації споживання енергоресурсів, що особливо важливо в умовах високої вартості енергії

та необхідності зменшення залежності від імпортованих енергоносіїв.

Енергоефективність, що передбачає скорочення енергоспоживання та зниження рівня викидів CO<sub>2</sub>, є найефективнішим інструментом для зменшення фінансового навантаження на населення та створення комфортних умов проживання. Оптимізація витрат на енергоресурси дозволить значно підвищити рівень енергетичної безпеки країни, сприяючи досягненню енергонезалежності. Крім того, впровадження енергоефективних технологій позитивно вплине на екологічний стан довкілля, що відповідає сучасним міжнародним стандартам сталого розвитку та забезпечить більш сприятливі умови для населення.

У 2022 році енергоефективність перестала бути виключно економічним фактором і набула статусу життєво необхідного ресурсу. Масові блекаути, спричинені атаками на енергетичну інфраструктуру, продемонстрували вразливість традиційних систем енергопостачання та змусили українців переосмислити ставлення до споживання енергії. Вимушена економія електроенергії та тепла в умовах перебоїв із постачанням зробила очевидною потребу в енергоефективних рішеннях на рівні як окремих домогосподарств, так і всієї країни.

З огляду на обмеженість енергетичних ресурсів та їхню високу вартість на світових ринках, питання ефективного використання енергії перетворилося не лише на економічну необхідність, а й на стратегічний елемент забезпечення національної безпеки. В умовах глобальної енергетичної нестабільності Україна змушена шукати шляхи зменшення залежності від традиційних джерел енергії та переходу на більш ефективні та сталі енергетичні моделі. Удосконалення систем енергозбереження та оптимізація споживання ресурсів сприятиме зниженню фінансового навантаження на державний бюджет і громадян, а також створить передумови для стабільного функціонування економіки навіть за умов зовнішніх кризових явищ.

Додатковим викликом для енергетичної безпеки стали військові ризики та загрози, спрямовані на критичну інфраструктуру країни. У зв'язку з цим нагальною потребою є розвиток відновлюваної енергетики, що здатна забезпечити автономність та стійкість енергосистеми. Використання сонячної, вітрової та інших видів альтернативної енергетики дозволить зменшити вразливість національної енергетичної мережі перед можливими атаками та техногенними ризиками. Крім того, модернізація житлового фонду шляхом впровадження енергоефективних технологій, включаючи утеплення будівель, встановлення сучасних систем управління енергоспоживанням та застосування розподілених джерел енергії, є важливим напрямом забезпечення життєздатності країни та її сталого розвитку.

Проблеми енергоефективності стають дедалі актуальнішими для України, особливо в контексті енергетичної безпеки та відновлення. Необхідно, щоб енергоефективність і екологічні норми стали основними принципами відновлення житлового фонду. Дотримання цих стандартів є надзвичайно важливим. Зменшення енергетичних витрат та належне довгострокове планування сталого розвитку енергетики на рівні держави та місцевих органів влади мають стати пріоритетними завданнями для реалізації структурних змін в енергетичному секторі на рівні громад, регіонів і країни в цілому [2, с. 31-38].

Таким чином, розробка пропозицій щодо вдосконалення державної політики в сфері енергоефективності житлового фонду є надзвичайно важливою для досягнення стійкого енергетичного розвитку, покращення якості життя населення та забезпечення енергетичної незалежності України.

В умовах довоєнного часу Україна взяла на себе зобов'язання щодо підвищення енергоефективності в рамках Договору про заснування Енергетичного Співтовариства та Угоди про асоціацію з Європейським Союзом та його державами-

членами. Одним з основних завдань стало зниження високого споживання теплової енергії в житловому секторі, аби воно відповідало європейським стандартам. Це стало важливим імпульсом для реформування житлового сектору, зокрема в управлінні багатоквартирними будинками та ринком комунальних послуг.

Президент Володимир Зеленський у 2021 році оголосив плани щодо «великої термомодернізації». Він повідомив, що протягом трьох років, починаючи з 2022 року, на цю програму планувалося виділити близько 300 млрд грн. У жовтні 2021 року був прийнятий новий рамковий закон «Про енергетичну ефективність», до якого згодом внесли зміни. Серед переваг цього закону – закладення сталого фінансування заходів з енергоефективності на рівні 1 % від бюджетних видатків.

На початку 2020 року уряд ухвалив Концепцію реалізації державної політики в сфері енергетичної ефективності будівель, що має на меті збільшення кількості будівель, які відповідають стандартам близького до нульового споживання енергії (НЗЕ).

Наприкінці 2021 року уряд затвердив Національний план дій з енергоефективності до 2030 року, який включав трирічний план заходів реалізації у 2021–2023 роках.

Проте в серпні 2022 року президент підписав законодавчі зміни, які мали на меті створення умов для впровадження комплексної термомодернізації будівель. Війна лише загострила існуючі проблеми з енергоносіями та їх витратами.

У грудні 2023 року Кабінет Міністрів України затвердив довгострокову стратегію термомодернізації будівель до 2050 року, що окреслює сім ключових цілей для досягнення енергоефективності та декарбонізації. Це включає в себе: 1) високу пріоритетність політики підвищення енергоефективності будівель на всіх рівнях; 2) комплексні та інтегровані підходи до термомодернізації; 3) подолання енергетичної бідності; 4) створення сприятливого ринкового середовища для масштабної термомодернізації.

Разом з цією стратегією, у грудні 2023 року було затверджено концепцію Державної цільової економічної програми підтримки термомодернізації будівель до 2030 року та Операційний план заходів для реалізації цієї програми у 2024–2026 роках. Концепція передбачає запровадження системи фінансової підтримки ініціатив населення, місцевої влади та бізнесу для підвищення енергоефективності будівель та інтеграції відновлювальних джерел енергії.

Отже, на державному рівні було прийнято низку важливих стратегічних документів, спрямованих на розвиток енергоефективності, зокрема в житловому секторі. Проте ці документи часто залишаються декларативними та не реалізуються на практиці [3, с. 236.]

Таким чином, відновлення України є не лише процесом подолання наслідків війни, а й стратегічним напрямом розвитку країни в післявоєнний період. Особливу роль у цьому відіграє вдосконалення державної політики в сфері енергоефективності житлового фонду, адже сучасні виклики вимагають комплексного підходу до енергозбереження та оптимізації споживання ресурсів. Інтеграція енергоефективних рішень у відбудову та модернізацію житлової інфраструктури сприятиме не лише зменшенню енергетичних витрат, а й створенню більш стійкої та безпечної енергосистеми, що відповідатиме сучасним стандартам сталого розвитку.

Для забезпечення стабільного розвитку та енергетичної безпеки України в майбутньому необхідно, щоб державна політика у сфері енергоефективності мала чітко визначені механізми реалізації та відповідала міжнародним тенденціям у цій галузі. Розробка ефективних пропозицій щодо вдосконалення цієї політики є критично важливою, оскільки вона дозволить підвищити рівень енергоефективності житлового фонду, зменшити залежність країни від імпортованих енергоносіїв та покращити якість життя населення. Впровадження інноваційних підходів та фінансових стимулів сприятиме активному залученню

інвестицій у сферу енергомодернізації, що стане основою для довгострокового сталого розвитку країни.

### Висновок

В умовах сучасних викликів, спричинених війною та необхідністю масштабного відновлення інфраструктури, державна політика в сфері енергоефективності житлового фонду України потребує невідкладного вдосконалення. Втрата значної частини житлового фонду, пошкодження енергетичних мереж та зростаючі витрати на відновлення вимагають комплексного підходу до модернізації будівель із застосуванням енергоефективних технологій. Ефективне реформування цієї політики повинно включати не лише оновлення будівельних норм, а й створення механізмів фінансового стимулювання, що заохочуватимуть населення та бізнес до впровадження енергозберігаючих рішень.

Успішна реалізація стратегій термомодернізації, затверджених на державному рівні, є одним із ключових інструментів підвищення енергетичної безпеки країни. Скорочення витрат на енергоресурси завдяки енергоефективним технологіям сприятиме не лише економічній стабільності домогосподарств, а й загальному зниженню залежності країни від імпортованих енергоносіїв. Крім того, модернізація житлового фонду сприятиме покращенню комфорту проживання громадян, підвищенню рівня екологічної безпеки та створенню умов для стійкого розвитку України в післявоєнний період.

Перш за все, необхідно посилити контроль за виконанням існуючих норм і стандартів енергоефективності, забезпечити реальне фінансування проектів термомодернізації, а також заохочувати місцеву владу, бізнес та громадськість до активної участі в цих процесах. Важливо також запровадити системи навчання та підвищення кваліфікації спеціалістів у сфері енергоефективності, що дозволить забезпечити не тільки якісне виконання

робіт, але й впровадження інноваційних технологій.

Крім того, Україні варто зосередитися на інтеграції принципів сталого розвитку в державну політику, розробляючи та реалізуючи проекти, що відповідають європейським стандартам. Це дозволить не тільки поліпшити енергоефективність будівель, але й забезпечити їх екологічність, що є важливим фактором для залучення міжнародних інвестицій.

Вдосконалення державної політики у сфері енергоефективності житлового фонду є одним із ключових чинників забезпечення енергетичної незалежності України та її сталого розвитку. У сучасних умовах, коли відновлення країни потребує раціонального використання ресурсів та впровадження сучасних технологій, особливу роль відіграє ефективне регулювання цього процесу на державному рівні. Це включає розробку нових будівельних норм, механізмів фінансового стимулювання та програм підтримки для населення, що сприятимуть впровадженню енергоефективних технологій у житловому секторі. Лише системний підхід до оновлення нормативно-правової бази дозволить створити умови для раціонального використання енергоресурсів та зниження витрат як для держави, так і для громадян.

Аби досягти бажаних результатів, необхідно об'єднати зусилля всіх учасників процесу – від органів державної влади до громадянського суспільства та бізнесу. Громадські організації та експертне середовище можуть відігравати важливу роль у розробці та популяризації енергоефективних рішень, сприяючи підвищенню обізнаності населення щодо переваг таких технологій. Водночас залучення приватного капіталу та міжнародної підтримки дозволить значно прискорити реалізацію програм модернізації житлового фонду. Лише комплексний підхід і спільні зусилля можуть забезпечити ефективну реалізацію енергоефективних ініціатив, що стануть запорукою енергетичної безпеки, економічної стабільності та добробуту

українського народу в умовах повоєнного відновлення.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Про енергетичну ефективність будівель : Закон України № 2118-VIII від 22 червня 2017 року. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19#Text> (дата звернення: 26.09.2024 року).
2. Суходоля О. М. Модель аналізу енергоспоживання та визначення рівня енергоефективності національної економіки. *Економіка України*. 2005. № 5. С. 31–38.
3. Саницький М. А., Позняк О. Р., Марущак У. Д. Енергозберігаючі технології в будівництві : навч. посіб. Львів : Національний ун-т «Львівська політехніка», 2013. 236 с.

### REFERENCES

1. *Pro enerhetychnu efektyvnist' budivel' : Zakon Ukrayiny № 2118-VIII vid 22 chervnya 2017 roku* [On Energy Efficiency of Buildings : Law of Ukraine No. 2118-VIII of June 22, 2017]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19#Text> (accessed on 26.09.2024). (in Ukrainian).
2. Sukhodolya O.M. *Model' analizu enerhospozhyvannya ta vyznachennya rivnya enerhoefektyvnosti natsional'noi ekonomiky* [Model for Analyzing Energy Consumption and Determining the Level of Energy Efficiency of the National Economy]. *Ekonomika Ukrainy* [Economy of Ukraine]. 2005, no. 5, pp. 31–38. (in Ukrainian).
3. Sanytskyi M.A., Poznyak O.R. and Marushchak U.D. *Enerhozberihayuchi tekhnolohiyi v budivnytstvi : navch. posibnyk* [Energy-Saving Technologies in Construction : textbook]. Lviv : National University “Lviv Polytechnic,” 2013. 236 p. (in Ukrainian).

Надійшла до редакції: 02.04.2025.

УДК 697:004.942

DOI: 10.30838/UJCEA.2312.270425.129.1169

## МОДЕЛЮВАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ ТВЕРДИХ МАТЕРІАЛІВ МЕТОДОМ ДИНАМІЧНОГО КАЛОРИМЕТРА

СОЛОД Л. В.<sup>1\*</sup>, канд. техн. наук, доц.,  
ТКАЧОВА В. В.<sup>2</sup>, канд. техн. наук, доц.,  
ПРОКОФ'ЄВА Г. Я.<sup>3</sup>, канд. техн. наук, доц.,  
БЕРЕЗЮК Г. Г.<sup>4</sup>, ст. викл.

<sup>1\*</sup> Кафедра опалення, вентиляції, кондиціонування та теплогазопостачання, 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) 681-12-02, e-mail: [solod.leontina@pdaba.edu.ua](mailto:solod.leontina@pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0002-4789-9514

<sup>2</sup> Кафедра опалення, вентиляції, кондиціонування та теплогазопостачання, 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) 756-34-92, e-mail: [tkachova.valeriia@pdaba.edu.ua](mailto:tkachova.valeriia@pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0001-9943-1852

<sup>3</sup> Кафедра опалення, вентиляції, кондиціонування та теплогазопостачання, 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) 756-34-92, e-mail: [chornomorets.halyna@pdaba.edu.ua](mailto:chornomorets.halyna@pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0003-4964-5785

<sup>4</sup> Кафедра опалення, вентиляції, кондиціонування та теплогазопостачання, 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) 756-34-92, e-mail: [bereziuk.hanna@pdaba.edu.ua](mailto:bereziuk.hanna@pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0002-4790-3421

**Анотація. Постановка проблеми.** Пошук енергоефективних рішень є актуальною задачею сучасного етапу розвитку будівництва та цивільної інженерії. Одним з важливих параметрів, які необхідно знати є теплопровідність виробів і матеріалів. Цей параметр залежить від температури та інших чинників, що зумовлює потребу у швидких засобах його визначення для оцінки енергоефективності рішень або в процесі досліджень. Одним із таких засобів є застосування моделювання. У статті описано постановку задач моделювання та представлено комп'ютерну модель, створену на основі реального приладу для вимірювання теплопровідності методом динамічного калориметра. Математична основа моделі базується на законі Фур'є, залежностях теплових параметрів сформульованих та задокументованих в документації до приладу, а також отриманих за результатами еталонних експериментів на приладі. Модель реалізовано в середовищі LabVIEW. протестовано шляхом проведення дослідів в різних режимах, що продемонструвало значне прискорення отримання результатів порівняно з дослідженнями на реальному приладі та корисність застосування моделювання для досліджень. **Мета статті.** Представлення постановки задач та результатів моделювання для дослідження теплопровідності твердих матеріалів. **Висновок.** Сформульовані задачі моделювання та створено комп'ютерну модель для дослідження теплопровідності твердих матеріалів. Моделюються процеси, що відбуваються в реальному приладі для вимірювань теплопровідності твердих матеріалів. Дослідження процесів на приладі використані для забезпечення адекватності моделі. Отримана модель може використовуватись, як для навчального процесу, так і для отримання даних щодо теплопровідних/теплоізоляційних властивостей ряду твердих матеріалів.

**Ключові слова:** теплопровідність; постановка задач моделювання; моделювання

## MODELING THE STUDY OF SOLID MATERIALS' THERMAL CONDUCTIVITY USING THE DYNAMIC CALORIMETRY METHOD

SOLOD L.V.<sup>1\*</sup>, Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.,  
TKACHOVA V.V.<sup>2</sup>, Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.,  
PROKOFIEVA H.Ya.<sup>3</sup>, Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.,  
BEREZIUH H.H.<sup>4</sup>, Senior Lect.

<sup>1\*</sup> Department of Heating, Ventilation, Air Conditioning, and Heat and Gas Supply, 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) 681-12-02, e-mail: [solod.leontina@pdaba.edu.ua](mailto:solod.leontina@pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0002-4789-9514



<sup>2</sup> Department of Heating, Ventilation, Air Conditioning, and Heat and Gas Supply, 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) 756-34-92, e-mail: [tkachova.valeriia@pdaba.edu.ua](mailto:tkachova.valeriia@pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0001-9943-1852

<sup>3</sup> Department of Heating, Ventilation, Air Conditioning, and Heat and Gas Supply, 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) 756-34-92, e-mail: [chornomorets.halyna@pdaba.edu.ua](mailto:chornomorets.halyna@pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0003-4964-5785

<sup>4</sup> Department of Heating, Ventilation, Air Conditioning, and Heat and Gas Supply, 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) 756-34-92, e-mail: [berezuik.hanna@pdaba.edu.ua](mailto:berezuik.hanna@pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0002-4790-3421

**Abstract. Statement of the Problem.** The search for energy-efficient solutions is relevant at the current construction and civil engineering development stage. One of the key parameters to be determined is the thermal conductivity of materials and products. This parameter depends on temperature and other factors, necessitating the need for fast and reliable methods to determine it for energy efficiency assessments or research purposes. One such method is using the modeling. This paper describes the formulation of modeling tasks and presents a computer model based on a real device for measuring thermal conductivity via the dynamic calorimetry method. The mathematical foundation of the model is based on Fourier's law, thermal parameter dependencies documented in the device specifications, and data obtained from benchmark experiments. The model is implemented in the LabVIEW environment and has been tested through experiments in various operational modes. The results demonstrate a significant reduction in time required to obtain data compared to studies conducted using the physical device, highlighting the effectiveness of modeling for research purposes. **The purpose of the article.** To present the problem formulation and modeling results for studying the thermal conductivity of solid materials. **Conclusion.** The modeling tasks have been formulated, and a computer model has been developed to study the thermal conductivity of solid materials. The model simulates the processes occurring in a real thermal conductivity measurement device. Experimental studies on the actual instrument have been used to validate the model's accuracy. The developed model can be utilized both for educational purposes and for obtaining data on the thermal conductivity and thermal insulation properties of various solid materials.

**Keywords:** thermal conductivity; modeling problem formulation; modeling

**Постановка проблеми.** Пошук енергоефективних рішень при новому будівництві або рішень з підвищення енергоефективності існуючих будівель є актуальною задачею сучасного етапу розвитку будівництва та цивільної інженерії. Згідно з Законом України від 22.06.2017 № 2118-VIII «Про енергетичну ефективність будівель» та ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель», «енергетична ефективність будівлі – це властивість будівлі, що характеризується кількістю енергії, необхідної для створення належних умов проживання та/або життєдіяльності людей у такій будівлі». Ця кількість енергії залежить від архітектурно-конструктивних рішень, застосованих технологій, будівельних матеріалів і виробів та ефективності інженерних систем. Причому високі показники енергоефективності будівлі можуть бути досягнуті при комплексному розгляді цих чинників, які можна вважати складовими енергоефективності будівлі.

При розробці, оцінці, виборі рішень та дослідженнях в кожній зі складових

енергоефективності потрібні дані щодо теплопровідних або теплоізолюючих властивостей виробів та матеріалів. Такі дані потрібні для рішень щодо збереження теплової енергії в будівлі або при її транспортуванні, забезпечення потрібної тепловіддачі опалювальних приладів та теплообмінного обладнання тощо.

Як відомо, теплопровідність матеріалу залежить від температури та інших чинників. Наприклад, у СНиП 2.04.14-88 Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. (Затверджено постановою Державного комітету СРСР у справах будівництва від 09.08.88 № 155 (статус документа в Україні – чинний)) коефіцієнти теплопровідності матеріалів в конструкції наведені для поверхонь з температурою 20 °C та вище у вигляді функції температури теплоізоляційного шару, що залежить від температури речовини, місця розташування поверхні та пори року; для поверхонь з температурою 19 °C та нижче – надається діапазон можливих коефіцієнтів теплопровідності. Таким чином, наявна потреба у засобах відносно швидкого визначення

теплопровідності матеріалів у визначених умовах для оцінки енергоефективності певного проєктного або технічного рішення, а також в процесі досліджень. На наш погляд, таким засобом є застосування моделювання.

**Аналіз публікацій.** Дослідженням теплопровідності та методам, що використовуються для цього присвячено багато публікацій в різних галузях. В роботі [1] автор досліджує властивості будівельних розчинів для оздоблення, в тому числі їх теплопровідність. Для визначення теплопровідності використовувався прилад ISOMET 2104 виробництва компанії ZwickRoell (Німеччина). Прилад використовує метод імпульсної термометрії для вимірювання швидкості розповсюдження тепла в матеріалі. На поверхню зразка подається короткий тепловий імпульс та фіксується зміна температури в різних точках зразка, математична модель, закладена в програмне забезпечення приладу, обчислює теплопровідність. Подібний метод описаний також в [2]. Визначення теплопровідності за допомогою стаціонарного вимірювального приладу з подальшим її прогнозуванням аналітичним методом описано також в [3], автори досліджують теплопровідність композитів.

В [4] розрахунок температурного поля для задач стаціонарної теплопровідності виконується з використанням спеціального програмного забезпечення – підсистема «Теплопровідність» РПК «Ліра-Сапр 2020» [5]. В [6] представлено підхід до визначення теплопровідності ґрунту для проєктування геотермальних теплонасосних установок. Теплопровідність ґрунту визначається за виміряною його температурою шляхом розв'язання оберненої задачі теплопровідності з використанням методів математичного моделювання, обчислювальних методів та ідентифікації теплофізичних процесів.

Можна бачити, що для визначення теплопровідності різних матеріалів в різних сферах затребуваним є застосування математичного моделювання та комп'ютерних технологій, комбінування

приладового та аналітичного методів. Таким чином, продовження досліджень в цьому напрямку є перспективним.

**Мета статті.** Представлення постановки задач та результатів моделювання дослідження теплопровідності твердих матеріалів.

**Виклад матеріалу.** Одним з напрямів діяльності лабораторії кафедри опалення, вентиляції, кондиціювання та теплогазопостачання ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» Українського державного університету науки і технологій є комп'ютерне моделювання для навчального процесу. На підґрунті реального обладнання створюються моделі для закріплення знань зі спеціальних дисциплін [7; 8]. Останнім часом ця діяльність отримує розвиток в напрямку удосконалення моделей для можливості їх застосування не тільки в навчальних цілях, а й для досліджень інженерних систем та їх елементів [9; 10].

Однією з розробок є комп'ютерна модель для визначення теплопровідності твердих матеріалів. Як зазначено вище, визначення теплопровідності необхідно при дослідженні різних об'єктів, а також для вирішення прикладних задач. Основою моделі є реальний прилад в якому для вимірювання теплопровідності використано метод динамічного калориметра.

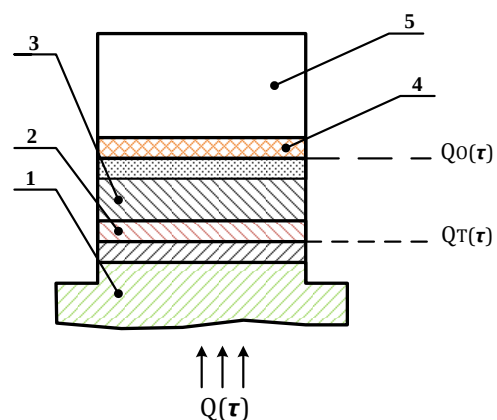


Рис. 1. Теплова схема вимірювання теплопровідності приладом: 1 – основа; 2 – пластина-тепломір; 3 – пластина контактна; 4 – зразок, що досліджується; 5 – стрижень

Опис та принцип дії приладу. Теплову схему з документації приладу показано на рисунку 1.

Досліджуваний зразок, контактна пластина та стрижень монотонно розігріваються тепловим потоком  $Q(\tau)$ , що йде від основи. Бокові поверхні стрижня, зразка та пластин адіабатно ізольовані. Перепади температур на стрижні та контактній пластині незначні, оскільки ці елементи виконані з міді, тобто мають високий коефіцієнт теплопровідності. Тепловий потік  $Q_T(\tau)$ , який йде через середній перетин пластини частково поглинається нею, а потім розігріває контактну пластину, зразок та стрижень.

Теплові потоки, що акумулюються зразком та пластиною принаймні у 5–10 разів менші ніж потік, що поглинається стрижнем, в приладі це забезпечується розмірами системи. Таким чином, всі елементи розігріваються з близькими швидкостями, температурне поле зразка та пластини наближене до стаціонарного лінійного.

Тепловий потік йде від електричного нагрівача в основі приладу, який забезпечує монотонний нагрів зі швидкістю близько 0,1 К/с. Для визначення теплопровідності у вигляді залежності від температури, прилад в процесі розігріву вимірює перепад температури на зразку та на пластині – тепломірі на фіксованих рівнях температури, використовуються термопари хромель – алюмель. Передбачено охолодження робочої частини приладу зрідженим азотом. Температурний діапазон вимірювань становить від –100 до +400 °С, діапазон виміру теплопровідності від 0,1 до 5 Вт/(м·К).

*Постановка задачі моделювання.* Мета – на основі аналізу об'єкту моделювання (реального приладу) розробити комп'ютерну модель для дослідження теплопровідності твердих матеріалів.

Процес моделювання організовано на основі теорії моделювання систем [11].

Опис моделі:

– вхідні змінні: матеріал, його маса, розміри та теплоємність, напруга нагрівача ( $U$ );

– вихідні змінні: перепади температури на зразку ( $\Delta t_z$ ) та на пластині – тепломірі ( $\Delta t_T$ );

– параметри: необхідний діапазон температур для вимірювань, електричний опір нагрівача ( $R$ ), коефіцієнт теплопередачі тепломіра  $k_T$ , чутливість термопар ( $A$ ) та інші постійні приладу;

– залежності вихідних змінних від вхідних:  $\Delta t_z, \Delta t_T = f(U)$ .

Формалізація моделі (фіксація зв'язків між елементами системи, формальне представлення):

– основа математичної моделі – закон Фур'є,  $\mathbf{q} = -\lambda \cdot \text{grad } T$  (густина теплового потоку ( $q$ ) прямо пропорційна градієнту температури ( $\text{grad } T$ ) та направлена в сторону меншої температури,  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності);

– потік теплоти визначається параметрами нагрівача ( $U, R$ );

– перепад  $\Delta t_T$  залежить від  $Q, k_T, A$ ; перепад  $\Delta t_z$  залежить від  $Q, A, \lambda$  та розмірів зразку ( $F$  – площа,  $h$  – висота);

– залежності теплових параметрів при забезпеченні рівномірного теплового потоку через тепломір і через зразок сформульовані і задокументовані в документації до приладу;

– модель реалізується в моделювальному конструкторі LabVIEW.

Основні залежності математичної моделі:

$$Q = U^2/R,$$

$$\Delta t_T = Q / k_T,$$

$$\Delta t_z = Q \times A / \lambda \times h / F,$$

$$\lambda(t) = \Delta t_T / \Delta t_z \times k_T \times h / F.$$

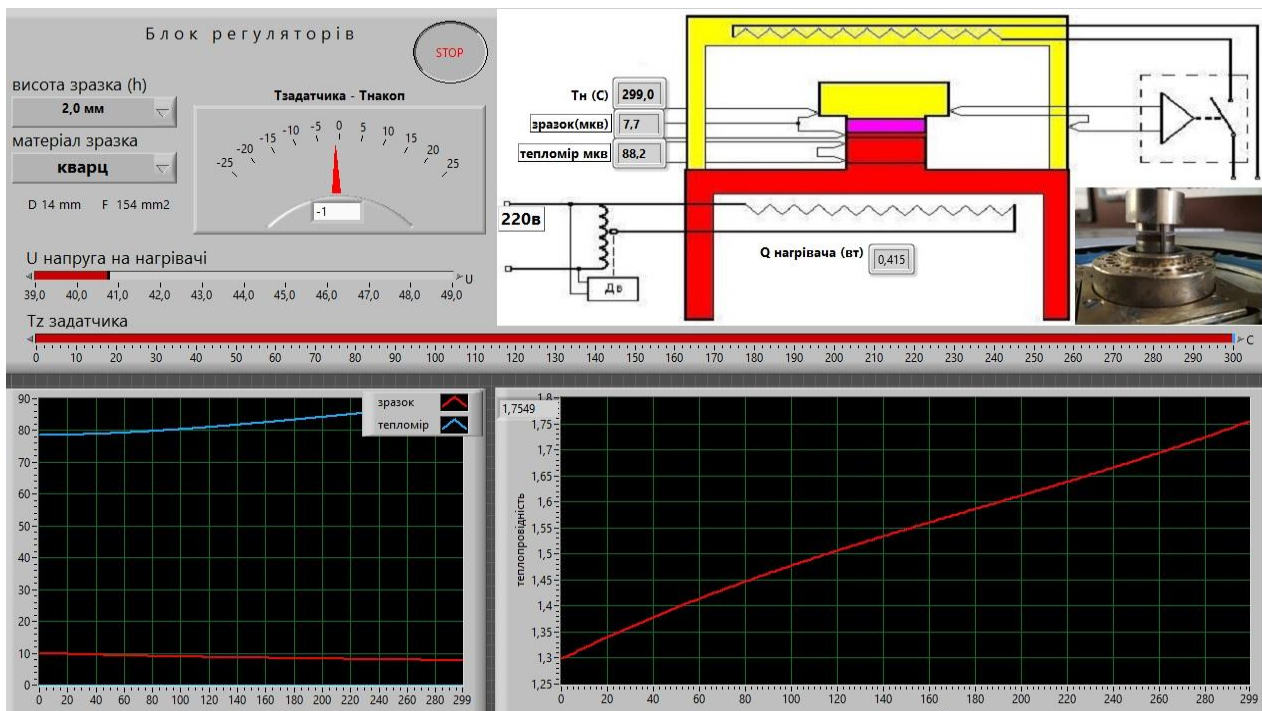


Рис. 2. Інтерфейс комп'ютерної моделі для дослідження теплопровідності твердих матеріалів

Інтерфейс комп'ютерної моделі показано на рисунку 2.

На фронтальній панелі моделі розташовані регулятори для задання необхідних параметрів досліду. Поруч розміщена схема та фото робочого вузла приладу, а внизу дві осцилограми: на лівій демонструється залежність перепадів температур тепломіра та досліджуваного зразка від плинної температури нагріву, на правій – залежність коефіцієнту теплопровідності досліджуваного зразка від температури.

Реалізація та верифікація моделі відбувалися в ході виконання магістерської кваліфікаційної роботи здобувача Крестинської А. «Дослідження коефіцієнту теплопровідності за допомогою комп'ютерної моделі». Для тестування моделі були проведені численні досліди в різних режимах, при задаванні різних вхідних змінних. Зокрема, досліджувались зразки з оргскла та кварцевого скла, матеріалів, що застосовуються в сонячних панелях.

Для забезпечення адекватності моделі до її алгоритму закладаються залежності

$\lambda = f(t)$ , отримані за результатами еталонних експериментів з різними матеріалами на приладі.

Використання для досліджень представленої моделі значно скорочує отримання результатів порівняно з дослідженнями на реальному приладі.

### Висновки

Сформульовані задачі моделювання та створено комп'ютерну модель для дослідження теплопровідності твердих матеріалів. Моделюються процеси, що відбуваються в реальному приладі для вимірювань теплопровідності твердих матеріалів. Дослідження процесів на приладі використані для забезпечення адекватності моделі. Отримана модель може використовуватись, як для навчального процесу, так і для отримання даних щодо теплопровідних/теплоізоляційних властивостей ряду твердих матеріалів.

Отримана модель може використовуватись, як для навчального процесу, так і для отримання даних щодо теплопровідних/теплоізоляційних властивостей ряду твердих матеріалів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ranesi A. Eco-efficient plasters for increased indoor air quality and comfort : Doctoral dissertation. NOVA School of Science and Technology, NOVA University Lisbon, 2023. URL: [https://run.unl.pt/bitstream/10362/163251/1/Ranesi\\_2023.pdf](https://run.unl.pt/bitstream/10362/163251/1/Ranesi_2023.pdf).
2. Cintura E., Faria P., Duarte M., Nunes L. Bio-wastes as aggregates for eco-efficient boards and panels : screening tests of physical properties and bio-susceptibility. *Infrastructures*. 2022. Vol. 7, № 3. P. 26. URL: <https://doi.org/10.3390/infrastructures7030026>.
3. Mi Zhaoguo, Chen Zhenhua, Yang Weihua. Experimental and Numerical Analysis of the Thermal Conductivity of SiCf/SiC Composites. *Advances in Materials Science and Engineering*. April. 2023. Article ID 6522013. 11 p. DOI: 10.1155/2023/6522013. URL: [https://www.researchgate.net/publication/370408445\\_Experimental\\_and\\_Numerical\\_Analysis\\_of\\_the\\_Thermal\\_Conductivity\\_of\\_SiCfSiC\\_Composites](https://www.researchgate.net/publication/370408445_Experimental_and_Numerical_Analysis_of_the_Thermal_Conductivity_of_SiCfSiC_Composites).
4. Лугченко О. І., Кулаков О. Ю. Термомодернізація при відновленні об'єктів, пошкоджених в період воєнної агресії. *Theoretical methods of research of the latest problems : abstracts of the XXI International scientific and practical conference*. May 27–29, Prague, Czech Republic, 2024. P. 635. URL: <https://eu-conf.com/wp-content/uploads/2024/04/9-789-40372-404-1.pdf>
5. Городецький О. С., Шмуклер В. С., Бондарев О. В. Інформаційні технології розрахунку та проєктування будівельних конструкцій : навч. посіб. Харків : НТУ «ХПІ», 2003. 889 с.
6. Костіков А. О., Сафонов М. О., Тарасова В. О. Ідентифікація теплофізичних характеристик ґрунту розв'язанням оберненої задачі теплопровідності. *Theoretical methods of research of the latest problems : abstracts of the XXI International scientific and practical conference*. May 27–29, Prague, Czech Republic, 2024. P. 635. URL: <https://eu-conf.com/wp-content/uploads/2024/04/9-789-40372-404-1.pdf>
7. Сокурєнко В. І., Солод Л. В., Чорнойван А. А. Використання комп'ютерних моделей лабораторних робіт в навчальному процесі денної форми навчання. *Дистанційна освіта у ВНЗ : інноваційні та психолого-педагогічні аспекти : зб. наук. праць Міжнар. наук.-метод. конф.* 19–20 листопада 2015 р. Харків : Харківський нац. автомобільно-дорожній ун-т, 2015. С. 181–184.
8. Солод Л. В., Черчата А. О. Теоретичні та практичні аспекти застосування інноваційних технологій навчання в закладах вищої освіти. Інструменти та методи комерціалізації інноваційної продукції : монографія за ред. Ілляшенка С. М., Біловодської О. А. Суми : Триторія, 2018. С. 370–379. ISBN 978-966-97865-2-4.
9. Солод Л. В., Адегов О. В., Березюк Г. Г., Ткачова В. В., Прокоф'єва Г. Я. Постановка задач моделювання для дослідження інженерних систем. *Просування енергоефективності та підготовка фахівців для відбудови України : матер. наук.-практ. конф.* 13 березня 2024 р. Дніпро : Енерго-інноваційний хаб ПДАБА, 2024. С. 113–116.
10. Ткачов М. С., Солод Л. В., Березюк Г. Г. Розробка моделі для дослідження систем теплопостачання. *Актуальні проблеми сучасної енергетики : матер. VIII Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. студ., аспір. і мол. вч.* 23 травня 2024 р. Хмельницький – Херсон : Книжкове видавництво ФОП Вишемирський В. С., 2024. С. 141–144. ISBN 978-617-8187-15-6.
11. Стеценко І. В. Моделювання систем : навч. посіб. [Електронний ресурс]. Черкаси : ЧДТУ, 2010. 399 с. URL: <http://surl.li/rewmp>

## REFERENCES

1. Ranesi A. Eco-efficient plasters for increased indoor air quality and comfort : Doctoral dissertation. NOVA School of Science and Technology, NOVA University Lisbon, 2023. URL: [https://run.unl.pt/bitstream/10362/163251/1/Ranesi\\_2023.pdf](https://run.unl.pt/bitstream/10362/163251/1/Ranesi_2023.pdf).
2. Cintura E., Faria P., Duarte M. and Nunes L. Bio-wastes as aggregates for eco-efficient boards and panels : screening tests of physical properties and bio-susceptibility. *Infrastructures*. 2022, no. 7 (3), p. 26. URL: <https://doi.org/10.3390/infrastructures7030026>
3. Mi Z., Chen Z. and Yang W. Experimental and Numerical Analysis of the Thermal Conductivity of SiCf/SiC Composites. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2023, art. ID 6522013, 11 p. URL: <https://doi.org/10.1155/2023/6522013>
4. Luhchenko O.I. and Kulakov O.Yu. *Termomodernizatsiya pry vidnovlenni ob'yektiv, poshkodzhennykh v period voyennoyi ahresiyi* [Thermomodernization during the restoration of objects damaged during military aggression]. *Theoretical Methods of Research of the Latest Problems : abstracts of the XXI International scientific and practical conference*. May 27–29, Prague, Czech Republic, 2024, p. 635. URL: <https://eu-conf.com/wp-content/uploads/2024/04/9-789-40372-404-1.pdf>. (in Ukrainian).
5. Horodetskyi O.S., Shmukler V.S. and Bondarev O.V. *Informatsiyni tekhnolohiyi rozrakhunku ta proyektuvannya budivel'nykh konstruksiy : navch. posib.* [Information technologies for calculation and design of building structures : textbook]. Kharkiv : NTU “KhPI”, 2003, 889 p. (in Ukrainian).
6. Kostikov A.O., Safonov M.O. and Tarasova V.O. *Identyfikatsiya teplofizychnykh kharakterystyk gruntu rozvyazannyam obrnenoyi zadachi teploprovodnosti* [Identification of Thermophysical Characteristics of Soil by

Solving the Inverse Problem of Heat Conduction]. Theoretical methods of research of the latest problems : abstracts of the XXI International scientific and practical conference. May 27–29, Prague, Czech Republic, 2024, p. 635. URL: <https://eu-conf.com/wp-content/uploads/2024/04/9-789-40372-404-1.pdf>. (in Ukrainian).

7. Sokurenko V.I., Solod L.V. and Chornoivan A.A. *Vykorystannya komp'yuternykh modeley laboratornykh robot v navchal'nomu protsesi dennoyi formy navchannya* [Use of computer models of laboratory works in the educational process of full-time education]. *Dystantsiyna osvita u VNZ : innovatsiyni ta psykholoho-pedahohichni aspekty : zb. nauk. prats' Mizhnar. nauk.-metod. konf.* [Distance Education in Higher Educational Institutions : Innovative and Psychological-Pedagogical Aspects : collection of scientific papers of the International scientific-methodical conference]. Kharkiv : Kharkiv National Automobile and Highway University, 2015, pp. 181–184. (in Ukrainian).

8. Solod L.V. and Cherchata A.O. *Teoretychni ta praktychni aspekty zastosuvannya innovatsiynykh tekhnolohiy navchannya v zakladakh vyshchoyi osvity. Instrumenty ta metody komertsializatsiyi innovatsiynoyi produktsiyi : monohrafiya za red. Illyashenka S.M., Bilovods'koyi O.A.* [Theoretical and practical aspects of the application of innovative teaching technologies in higher education institutions. Tools and methods for commercialization of innovative products : monograph in S.M. Illiashenko and O.A. Bilovodska (Eds.)]. Sumy : Tritoria Publ., 2018, pp. 370–379. ISBN 978-966-97865-2-4. (in Ukrainian).

9. Solod L.V., Adehov O.V., Bereziuk H.H., Tkachova V.V. and Prokofieva H.Ya. *Postanovka zadach modelyuvannya dlya doslidzhennya inzhenernykh system* [Setting modeling tasks for the study of engineering systems]. *Prosvannya enerhoefektyvnosti ta pidhotovka fakhivtsiv dlya vidbudovy Ukrayiny : materialy naukovo-praktychnoyi konferentsiyi* [Promoting Energy Efficiency and Training Specialists for the Reconstruction of Ukraine : proceedings of the scientific-practical conference]. Dnipro : Energy-Innovation Hub PSACEA, 2024, pp. 113–116. (in Ukrainian).

10. Tkachov M.S., Solod L.V. and Bereziuk H.H. *Rozrobka modeli dlya doslidzhennya system teplopostachannya* [Development of a model for the study of heat supply systems]. *Aktual'ni problemy suchasnoyi enerhetyky : materialy VIII Vseukrayins'koyi nauk.-prakt. internet-konf. studentiv, aspirantiv i molodykh vchenykh* [Actual Problems of Modern Energy : proceedings of the VIII All-Ukrainian scientific-practical internet-conference of students, postgraduates and young scientists]. Kherson : Book Publishing House FOP Vishemyrskyi V.S., 2024, pp. 141–144. ISBN 978-617-8187-15-6. (in Ukrainian).

11. Stetsenko I.V. *Modelyuvannya system : navch. posib.* [Modeling of systems : textbook]. Cherkasy: ChDTU, 2010, 399 p. URL: <http://surl.li/rewmp>. (in Ukrainian).

Надійшла до редакції 22.04.2025.

УДК 728 (477)

DOI: 10.30838/UJCEA.2312.270425.136.1170

## ОСОБЛИВОСТІ АРХІТЕКТУРНИХ ТРАНСФОРМАЦІЙ СУЧАСНОЇ ЖИТЛОВОЇ ЗАБУДОВИ (НА ПРИКЛАДІ М. ДНІПРО)

ЦИМБАЛОВА Т. А., канд. арх., доц.

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 (067) 84-94-355, e-mail: [zimbalovat@gmail.com](mailto:zimbalovat@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-0854-0250

**Анотація. Постановка проблеми.** У місті Дніпро у сучасних умовах відбувається активний процес архітектурно-містобудівних трансформацій у структурі селітебних територій та житлової забудови. Зміни у просторово-планувальній організації міського містобудівного каркасу пов'язані, насамперед із архітектурно-будівельною діяльністю у наступних функціонально-типологічних напрямках: будівництво нових житлових об'єктів, реконструкція існуючого житлового фонду. У центральному історичному ядрі міста будівництво нових житлових об'єктів (переважно багатоповерхових та висотних) відбувається в умовах складності пошуку балансу між пріоритетністю територіального фактору та вимогами щодо збереження цінної історико-архітектурної спадщини. Також, процес нового житлового будівництва ведеться на територіях «спальних» районів міста, уздовж окремих прибережних зон. Для нової житлової багатоповерхової та висотної забудови притаманна тенденція інтегрованого зведення житлових структур – поєднання комерційно-ділового та житлового блоків. **Мета.** Виявлення особливостей сучасних трансформаційних процесів житлової забудови у структурі селітебних територій міста Дніпро. **Висновки.** Найбільший обсяг будівельних робіт зі зведення нових житлових будинків (зокрема, багатоповерхових та багатоповерхових) здійснюється в центральній історичній частині міста. Інтеграція ділових функцій у житлові структури розглядається як архітектурне реагування на умови сучасного соціального замовлення, пов'язаного із процесом глобалізації, розвитком дистанційних форматів діяльності. Нові житлові об'єкти у місті Дніпро відносяться до категорії комерційного житла; проектні концепції, здебільшого демонструють принципи вільного планування, багатофункціонального використання житлового простору.

**Ключові слова:** трансформації житлової забудови; функціонально-типологічна інтеграція; багатофункціональні житлові комплекси

## FEATURES OF ARCHITECTURAL TRANSFORMATIONS OF MODERN RESIDENTIAL BUILDING (ON THE EXAMPLE OF DNIPRO)

TSYMBALOVA T., PhD (Arch.), Assoc. Prof.

Department of the Architectural Planning and Town-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 (067) 84-94-355, e-mail: [zimbalovat@gmail.com](mailto:zimbalovat@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-0854-0250

**Abstract. Problem statement.** In the city Dnipro in modern conditions an active process of architectural and urban transformations is undergoing in the structure of residential areas and residential buildings. Changes in the spatial-planning organization of the city's town-planning framework are primarily related to architectural and construction activities in the following functional-typological directions: construction of new housing facilities, reconstruction of the existing housing stock. In the central historical core of the city, the construction of new residential facilities (mainly multi-story and high-rise) takes place in the conditions of the difficulty of finding a balance between the priority of the territorial factor and the requirements for the preservation of valuable historical and architectural heritage. Also, the process of new residential construction is being carried out in the territories of the "sleeping" districts of the city, along certain coastal zones. For new residential multi-story and high-rise buildings, the trend of integrated construction of residential structures is inherent – a combination of commercial and business and residential blocks. **Purpose.** Identification of features of modern transformational processes of residential development in the structure of residential areas of the city of Dnipro. **Conclusions.** The largest amount of construction work on the construction of new residential buildings (in particular, multi-story and high-rise buildings) is carried out in the central historical part of the city. The integration of business functions into residential structures is considered as an architectural response to the conditions of the modern social order associated with the process of globalization, the development of remote formats



of activity. New residential buildings in Dnipro belongs to the category of commercial housing; project concepts mostly demonstrate the principles of free planning, multifunctional use of living space.

**Keywords:** *transformation of residential buildings; functional and typological integration; multifunctional residential complexes*

**Постановка проблеми.** Розвиток житлової забудови є ключовим аспектом у процесі формування архітектури великого міста (зокрема, у контексті порівняння із чисельністю основних об'єктів міського капітального фонду: промислового призначення, громадського обслуговування, комунально-транспортного господарства).

У сучасних умовах у місті Дніпро процес архітектурно-містобудівного формування селітебних територій відбувається в складних умовах.

Наразі, існуючий стан проблеми створення житлового капітального фонду у м. Дніпро вимагає науково-незалежного професійного архітектурно-містобудівного аналізу щодо виявлення ступеня відповідності вимогам та правилам державної будівельно-законодавчої бази України.

Перспективна містобудівна динаміка м. Дніпро пов'язана із підвищенням потреб пошуку соціально-адаптивних функціонально-типологічних рішень житлової забудови.

**Аналіз публікацій.** Наукова аналітика щодо трансформаційних процесів у структурі міського житлового фонду присвячена проблемам: регенерації заповідних територій історичних міст Західної України (М. В. Бевз) [1]; відтворення кварталів житлової забудови центральних частин малих історичних міст Західної України (М. Р. Ясінський) [13]; законодавчого супроводження реконструкції житлового фонду в Україні (М. В. Бельдей, Ю. М. Манцевич) [2]; екстенсивного урбанізму і створення масового житла у країнах Балтії, Центральної та Східної Європи (М. Глендіннінг) [15]; будівництва функціонального житла та його економіки в Румунії (М. Маргінеан) [16]; створення просторової гнучкості і технологічності у житлових осередках (Ч. Целуччі) [14].

**Мета дослідження.** Виявлення особливостей сучасних трансформаційних процесів житлової забудови у структурі селітебних територій міста Дніпро.

**Виклад матеріалу.** Еволюція містобудування невідривно пов'язана із трансформаційними процесами архітектурно-планувальних структур, виникненням нових функціональних типів капітальних об'єктів, у тому числі із новими підходами до створення житлового середовища, (яке вважається найбільш консервативною сферою архітектурної діяльності).

У першій чверті ХХІ ст. у місті Дніпро відбувалися суттєві зміни містобудівного каркасу, насамперед, у складі селітебних територій. Сучасні трансформаційні тенденції в архітектурно-будівельній сфері у м. Дніпро є об'єктивним неминучим процесом, наслідком критичного ставлення до усталених стереотипів під впливом складних соціально-економічних та військово-політичних умов.

В аспекті житлової забудови трансформаційні процеси у містобудівній структурі у м. Дніпро відтворюються у вигляді двох основних напрямків: за рахунок будівництва нових житлових об'єктів та завдяки реконструктивним заходам.

При цьому слід відмітити пріоритетність територіального фактору, що має відображення у своєрідному поєднанні комерційно конкурентних переваг та обмежень щодо обґрунтування та реалізації довгострокових стратегій розвитку міста.

Останніми роками найбільш активна архітектурно-будівельна діяльність пов'язана із центральною історичною частиною міста.

На сьогоднішній день більше 80 % історичної житлової забудови м. Дніпро, (сформованої на межі ХІХ – поч. ХХ ст.) складають будівлі колишніх прибуткових будинків, основна частина яких у

дореволюційний період представляла різні архітектурно-планувальні варіанти поєднання житлової та громадської функцій [11] (рис. 1).



Рис. 1. Прибуткові будинки Першого Катеринославського будівельного товариства (м. Дніпро, вул. Старокозацька, 74)

Найчастіше, на перших та в цокольних поверхах розміщувались приміщення торгового та побутового обслуговування; житлові квартири починались із другого поверху (подібна концепція вертикального зонування житлових багатоквартирних будинків має давню історію, традиція зберігається і в сучасних умовах в урбанізованих регіонах світу). Після Жовтневої революції 1917 р. внаслідок встановлення нових принципів розподілу житла у переважній більшості квартир у прибуткових будинках було застосовано комунальну форму розселення, частину квартир передано адміністративно-комунальним установам, існуючі раніше майстерні, конторські, комерційні та інші заклади сфери надання приватних послуг було ліквідовано [12].

Але згодом, досвід функціонально-планувальної комбінації житлової частини та приміщень громадського призначення у м. Дніпро було відновлено. Зокрема, трансформації підходів до побудови композиції фасадів, що відбувалися протягом минулого століття, свідчать про використання принципу збільшення функціональних елементів у житловій архітектурі міста.

У сучасних умовах в історичному ядрі м. Дніпро набула поширення практика включення у квартальну парцеляцію

окремих багатоповерхових житлових будівель, що призводить до значних змін функціональних та об'ємно-просторових характеристик історичного середовища (рис. 2, 3).



Рис. 2. Багатофункціональний комплекс «Ermolaev Center» (м. Дніпро, вул. Шевченка, 43)



Рис. 3. Житловий комплекс «Manhattan» (м. Дніпро, вул. Ульянівська, 11)

У структурі традиційної квартальної забудови можна виділити наступні прийоми місцезоташування нових багатоквартирних житлових будинків відносно ліній регулювання забудови:

- фронтально уздовж червоної лінії периметральної забудови;
- фронтально із відступом від червоної лінії;
- в глибині квартальної забудови;
- у вигляді кутових завершень регулярної квартальної структури (рис. 4).

У м. Дніпро ареал успадкованого містобудівельного середовища представлений значною частиною будівель цінної історико-архітектурної категорії (де присутня особлива духовно-емоційна атмосфера старовинного купецького міста) [10; 11].



Рис. 4. Багатофункціональний комплекс «Каскад-Плаза» (м. Дніпро, Катеринославський бульвар, 1)

З приводу вищесказаного варто запозичити європейський досвід щодо вирішення проблеми регенерації та ревалоризації центрів історичних міст, який свідчить про два основних підходи:

1) консервація та музеєфікація кварталів із найбільш цінною аутентичною забудовою;

2) реставрація та адаптація збереженої історичної забудови у поєднанні з новим будівництвом [13].

На жаль, у м. Дніпро практика будівництва нових багатоповерхових будинків свідчить про часті серйозні порушення в аспектах нормативно-правового захисту історичного ядра міста.

А саме, ігнорування такої науково-проектної документації, як історико-архітектурний опорний план та охоронні зони із зонами регулювання забудови щодо поверховості [10].

У деяких випадках, в умовах дефіциту вільних територій для нового будівництва, знесення історично цінних будинків розглядається як більш рентабельний спосіб ніж реабілітація будівлі та її модернізація [7].

Також, визиває тривогу занадто інтенсивне освоєння схилів балок, насамперед, найбільшої балки міста – Довгої, північна частина якої знаходиться у межах історичного ядра міста (незважаючи на наявну професійну інформацію щодо небезпечності території внаслідок розвитку руйнівних зсувних процесів; за радянських часів містобудівні концепції створення багатоповерхових громадсько-житлових

ансамблів не отримали дозволу реалізації) [5] (рис. 5).



Рис. 5. Адміністративно-житловий комплекс «Аркадійська вежа», розташований на схилі балки Довга (м. Дніпро, вул. Гоголя, 20-б)

Функціонально-типологічний аналіз архітектури нової забудови в історичній частині міста свідчить, що традиційний підхід – застосування принципу кооперації житла та комерції залишається головним наративом сучасних об'ємно-планувальних рішень – у вигляді інтеграції ділових функцій у житлові структури.

Тенденція зведення комплексних житлових структур та комбінованого поєднання комерційного, офісного та житлового блоків розглядається як архітектурне реагування на умови сучасного соціального замовлення, пов'язаного із процесом глобалізації, зокрема із розвитком дистанційних форматів діяльності та інтелектуалізацією праці.

У контексті соціального значення новоспорудженого житла сучасні реалії демонструють кардинальну трансформацію у порівнянні із періодом іншого рівня соціально-правового захисту і матеріально-економічних можливостей масового споживача будівельно-житлової продукції.

Нові житлові об'єкти в м. Дніпро відносяться до категорії комерційного житла; основні типологічні архітектурно-просторові концепції розраховані на високий рівень фінансової спроможності покупців і передбачають відповідну якість житлового середовища (рис. 6).





Рис. 6. Житловий комплекс «Вежі»  
(м. Дніпро, вул. Вернадського, 35-Б)

Проектні концепції, здебільшого демонструють принципи вільного планування, багатофункціонального використання житлового простору; у багатьох випадках передбачається додаткове залучення фахівців для створення індивідуального дизайну житлових осередків.

Трансформаційні процеси у структурі житлової забудови відбуваються і на територіях, що представляють основний житловий фонд міста (у «спальних» районах із багатоповерховою забудовою, споруджених у період 1970–80х рр.) або на суміжних із ними землях, звільнених від попередніх споруджень. Характерним є впровадження архітектурних проектів як у вигляді окремих багатоповерхових житлових будинків, так і багатоповерхових житлових комплексів модульного типу (на відміну від індустріалізованого процесу створення масового типового швидкозбірного житла, сучасні будівельні методи трансформувалися у каркасно-монолітні технології із застосування арматурно-опалубних блоків – зведення об'єктів здійснюється безпосередньо на будівельному майданчику [3; 8] (рис. 7).

Також, нове житлове будівництво представлене у вигляді окремих інсталяцій у мікрорайонах, сформованих у 1960–70-х рр. із забудовою середньої поверховості будинками перших масових серій – так званими «хрущовками».



Рис. 7. Житловий комплекс «Щасливий», зводиться на території колишнього тепличного комбінату «Квіти Дніпропетровська» (м. Дніпро, ж/м Тополя-1)



Рис. 8. Нові висотні житлові будинки біля пам'ятника Слави (м. Дніпро)



Рис. 9. Житловий комплекс  
«ЖК Bartolomeo Resort Town» на березі р. Дніпро  
(м. Дніпро, Набережна Перемоги, 7)

За містобудівним статусом значну кількість об'єктів нового житлового фонду у м. Дніпро можна віднести до висотних атрактивних елементів, зокрема, що створюють панорамні ансамблі, розташовані на вершинах пагорбів, на

вершинах схилів балок або на набережній (сучасними державними будівельно-правовими нормами скасовано суворі обмеження щодо господарчого освоєння в межах водоохоронних зон) [4; 6; 9] (рис. 8, 9).

На периферійних міських територіях із традиційно малоповерховою забудовою мають прояв окремі елементи трансформаційних процесів у вигляді поширення функціональних типів нового житла: індивідуальних будинків особнякового типу (котеджі, віли) та зблокованих модульних будинків малої і середньої поверховості («town house»), що часто використовується в якості міні-готелів.

Впродовж останніх десятиліть архітектурно-планувальні зміни у стані існуючої міської забудови були пов'язані із реконструктивними роботами, серед яких найбільшими масштабами відзначилися:

- перебудова гуртожитків із метою створення квартирних будинків, у тому числі із добудовою додаткових поверхів та створенням механізованих вертикальних комунікацій;

- зведення скатних дахів на будинках перших масових серій.



*Рис. 10. «Історична маска» фасаду колишнього прибуткового будинку після реконструкції (м. Дніпро, вул. Глінки, 7)*

В кварталах історичних ареалів із цінною історико-архітектурною спадщиною житлової забудови практика відновлювальних архітектурно-будівельних заходів залишається малозначною і недостатньою.

Можна відзначити окремі приклади реконструкцій архітектурно-цінних будівель катеринославського періоду, в наслідок яких, частково збережено частину головного фасаду – так звану «історичну маску».

Але, на жаль, у більшості, в результаті реконструктивних дій, автентичність об'єктів назавжди втрачається (що є однією із складових процесу ліквідації культурної і духовної пам'яті сьогоденних та майбутніх мешканців міста Дніпро) (рис. 10).

## Висновки

У результаті проведеного дослідження сучасних трансформаційних процесів у структурі селітебних територій та житлової забудови м. Дніпро виявлено характерні особливості:

1. Найбільший обсяг будівельних робіт щодо спорудження нових житлових об'єктів (зокрема багатоповерхових та висотних) проводиться у центральній історичній частині міста. Також, активно збільшується житловий фонд на територіях «спальних» районів міста, уздовж окремих прибережних зон.

2. Конструктивно-будівельні методи зведення багатоповерхового та висотного житлового фонду пов'язані із каркасно-монолітними технологіями із застосування арматурно-опалубних блоків.

3. Головним напрямком об'ємно-планувальних рішень нової багатоповерхової та висотної забудови (зокрема у центральному історичному ядрі міста) є інтеграція комерційно-ділових функцій у житлові структури.

4. Пріоритетність комерційного прагматизму у підходах до архітектурно-будівельної діяльності (насамперед, в аспектах містобудівних, ергономічних, безпеки експлуатації).

5. Орієнтація на соціально обмежений контингент (на високий рівень фінансової спроможності потенційних власників нерухомості).

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бевз М. В. Проблеми регенерації заповідних територій історичних міст. *Вісник НУ «Львівська політехніка»*. Львів : НУ «Львівська політехніка», 2001. № 429. С. 146–155.
2. Бельдей М. В., Манцевич Ю. М. Законодавчі аспекти реконструкції житлового фонду. *Реконструкція житла*. Київ : ДП «НДІ проєктреконструкція», 2009. № 11. С. 14–19.
3. Большаков В. І., Кравчуновська Т. С., Заяць Є. І., Єпіфанцева С. В. Формування системи факторів, що визначають доцільність та ефективність висотного будівництва. *Вісник ПДАБА*. 2012. № 11. С. 4–8.
4. ДБН Б.2.2-5:2011. Благоустрій територій. Київ : Укрархбудінформ, 2011.
5. Головань О. та ін. Внесення змін до плану зонування території міста (зонінг) розділ охорона навколишнього природного середовища (в обсязі звіту про Стратегічну екологічну оцінку). Київ : «ДІПРОМІСТО» ім. Ю. М. Білокона, 2020. 98 с.
6. Водний кодекс України (ВКУ 2020) (зі змінами). Ст. 89. Обмеження господарської діяльності в прибережних захисних смугах уздовж річок, навколо водойм та на островах. [Чинний від 28.04.2021].
7. Закон України «Про охорону культурної спадщини». [Чинний від 17.02.2001].
8. Заяць Є. І., Єпіфанцева С. В. Особливості висотних будівель та фактори, що впливають на вибір конструктивних та організаційно-технологічних рішення. *Вісник ПДАБА*. 2015. № 2 (203). С. 29–35.
9. Земельний кодекс України. Ст. 58. Склад земель водного фонду. [Чинний від 25.10.2001].
10. Ревський С. Б., Ревський І. С. Історико-архітектурний опорний план. Визначення меж, режимів використання, режимів регулювання забудови історичних ареалів м. Дніпро. Пояснювальна записка. Київ : Міжнародний центр культурної спадщини та культурних цінностей, 2019. 249 с.
11. Ревський С. Б. Про Катеринославський цегельний стиль, термінологію, та наукову етику. *Будівництво, матеріалознавство, машинобудування*. 2005. Вип. 32, ч. 2. С. 208–209.
12. Цимбалова Т. А. Особливості архітектурно-планувальної адаптації прибуткових будинків Катеринослава для сучасних умов. *Придніпров'я : історико-краєзнавчі дослідження : зб. наук. пр.* Дніпро : Ліра, 2015. Вип. 13. С. 212–223.
13. Ясінський М. Р. Відтворення кварталів житлової забудови центральних частин малих історичних міст : автореф. дис. на здобуття ступеня канд. архітектури : спец. 18.00.01. Львів : НУ «Львівська політехніка», 2018. 22 с.
14. Cellucci C. Time and Resilience: Technological and Spatial Flexibility for the New Home Designing. *University G. d'Annunzio of Chieti and Pescara*. 2014. Pp. 54–61.
15. Glendinning M. Mass housing and extensive urbanism in the Baltic countries and Central/Eastern Europe : a comparative overview. *The Urban Book Series*. 2019. Pp. 117–136.
16. Marginean M. Some discussions on functionalist housing and its economics in Romania by the late 1950s and early 1960s. *Studia Politica*. 2017. № 17 (1). Pp. 73–84.

## REFERENCES

1. Bevs M.V. *Problemi regeneratsiyi zapovidnih teritoriy Istorichnih mIst* [Problems of regeneration of protected areas of historical cities]. *Visnik NU "Lvivska politehnika"* [Bulletin of Lviv Polytechnic University]. Lviv : Lviv Polytechnic University, 2001, no. 429, pp. 146–155. (in Ukrainian).
2. Beldey M.V. and Mantsevich Yu.M. *Zakonodavchi aspekti rekonstruktsiyi zhitlovogo fondu* [Legislative aspects of housing reconstruction]. *Rekonstruktsiya zhitla* [Housing reconstruction]. Kyiv : SE "SRI Projectreconstruction, 2009, no. 11, pp. 14–19. (in Ukrainian).
3. Bolshakov V.I., Kravchunovska T.S., Zayats E.I. and Epifantseva S.V. *Formuvannya sistemi faktoriv, scho viznachayut dotsilnist ta efektyvnist visotnogo budivnitstva* [Formation of a system of factors that determine the expediency and efficiency of high-rise construction]. *Visnik PDABA* [Bulletin of PSACEA]. 2012, no. 11, pp. 4–8. (in Ukrainian).
4. *DBN B.2.2-5:2011. Blagoustriy teritoriy* [Improvement of territories]. Kyiv : UkrarhbudInform Publ., 2011. (in Ukrainian).
5. Golovan O. and oth. *Vnesennya zmln do planu zonuвання teritoriyi mIsta (zonIng) rozdl ohorona navkolishnogo prirodnogo seredovischa (v obsyazl zvltu pro StrategIchnu ekologIchnu otsInku)* [Making changes to the zoning plan of the city territory (zoning), the environmental protection section (in the scope of the Strategic Environmental Assessment report)]. Kyiv : "DIPROMISTO" named after Yu.M. Bilokon, 2020, 98 p. (in Ukrainian).
6. *Vodniy kodeks Ukrayini (VKU 2020) (zi zminami). St. 89. "Obmezheniya gospodarskoyi dlyalnostI v priberezhnih zahisnih smugah uzdovzh rIchok, navkolo vodoym ta na ostrovah"* [Water Code of Ukraine (VKU 2020) (with changes). Art. 89 "Restrictions on economic activity in coastal protective strips along rivers, around reservoirs and on islands"]. Valid from 28.04.2021. (in Ukrainian).
7. *Zakon Ukrayini "Pro ohoronu kulturnoyi spadschini"* [Law of Ukraine "On Protection of Cultural Heritage"]. Valid from 17.02.2001. (in Ukrainian).

8. Zayats E.I. and EpIfantseva S.V. *OsoblivostI visotnih budIvel ta faktori, scho vplivayut na vibIr konstruktivnih ta organIzatsIyno-tehnologIchnih rIshennya* [Features of high-rise buildings and factors affecting the choice of constructive and organizational and technological solutions]. *Visnik PDABA* [Bulletin of PSACEA]. 2015, no. 2 (203), pp. 29–35. (in Ukrainian).
9. *Zemelnyi kodeks Ukrainy. St. 58. Sklad zemel vodnoho fondu* [Land Code of Ukraine. Art. 58. Composition of lands of the water fund]. Valid from 25.10.2001. (in Ukrainian).
10. Revskiy S.B. and Revskiy I.S. *Istoriko-arhItekturniy oporniy plan. Vznachennya mezh, rezhimIv vikoristannya, rezhimIv reguluvannya zabudovi Istorichnih arealIv m. DnIpro. Poyasnyvalna zapiska* [Historical and architectural reference plan. Determination of boundaries, modes of use, modes of regulation of development of historical areas of the city Dnipro. Explanatory note]. Kyiv : Mizhnarodniy tsentr kulturnoyi spadschini ta kulturnih tsinnostey, 2019, 249 p. (in Ukrainian).
11. Revskiy S.B. *Pro Katerinoslavskiy tsegelniy stil, termInologIyu, ta naukovu etiku* [About Katerynoslav brick style, terminology, and scientific ethics]. *BudIvnytstvo, materIaloznavstvo, mashinobuduvannya* [Construction, Materials Science, Mechanical Engineering]. 2005, no. 32, vol. 2, pp. 208–209. (in Ukrainian).
12. Tsybalova T.A. *Osoblivosti arhitekturno-planuvanoi adaptatsiyi pributkovih budinkiv katerinoslava dlya suchasnih umov* [Peculiarities of architectural and planning adaptation of profitable houses of Katerynoslav for modern conditions]. *Pridniprova : istoriko-kraeznavchi doslidzhennya* [Dnieper Region : Historical and Local Studies]. Dnipro : Lira Publ., 2015, no. 13, pp. 212–223. (in Ukrainian).
13. YasInskiy M.R. *Vidtvorennya kvartaliv zhitlovoyi zabudovi tsentralnih chastin malih istorichnih mist : avtoref. dis. na zdobuttya stupenya kand. Arhitekturi : spets. 18.00.01* [Reproduction of blocks of residential buildings in the central parts of small historical towns : author's abstract of the dissertation for the degree of candidate of architecture : special 18.00.01]. Lviv : NU “LvIvska PolItehnIka” Publ., 2018, 22 p. (in Ukrainian).
14. Cellucci C. *Time and Resilience : Technological and Spatial Flexibility for the New Home Designing*. University G. d’Annunzio of Chieti and Pescara, 2014, pp. 54–61.
15. Glendinning M. *Mass housing and extensive urbanism in the Baltic countries and Central/Eastern Europe : a comparative overview*. The Urban Book Series. 2019, pp. 117–136.
16. Marginean M. *Some discussions on functionalist housing and its economics in Romania by the late 1950s and early 1960s*. *Studia Politica*. 2017, no. 17 (1), pp. 73–84.

Надійшла до редакції: 08.04.2025.



UDC 519.6:504.5:614.84

DOI: 10.30838/UJCEA.2312.270425.144.1171

## MATHEMATICAL MODELING OF HEAT AND MASS TRANSFER PROCESSES IN SAFETY LABOUR PROBLEMS : DUST AND HEAT POLLUTION

BILIAIEV M.M.<sup>1</sup>, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,  
BERLOV O.V.<sup>2\*</sup>, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*,  
KIRICHENKO P.S.<sup>3</sup>, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*,  
KOZACHYNA V.A.<sup>4</sup>, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*,  
TYMOSHENKO L.O.<sup>5</sup>, *Ass. of Prof.*

<sup>1</sup> Department of Hydraulics, Water Supply and Physics, Ukrainian State University of Science and technologies, ESI “Dnipro Institute of Infrastructure and Transport”, 2, Lazaryana St., Dnipro, 49010, Ukraine, tel. +38 (056) 373-15-09, e-mail: [biliaiev.m@gmail.com](mailto:biliaiev.m@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-1531-7882

<sup>2\*</sup> 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) 756-34-57, e-mail: [berlov.oleksandr@pdaba.edu.ua](mailto:berlov.oleksandr@pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0002-7442-0548

<sup>3</sup> Department of Heat and Gas Supply, Drainage and Ventilation, Kryvyi Rih National University, 11, Vitaly Matusevich St., Kryvyi Rih, 50027, Ukraine, tel. +38 (056) 409-06-06, e-mail: [pasha\\_129@ukr.net](mailto:pasha_129@ukr.net), ORCID ID: 0000-0002-0793-9593

<sup>4</sup> Department of Hydraulics, Water Supply and Physics, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI “Dnipro Institute of Infrastructure and Transport”, 2, Lazaryan St., Dnipro, 49010, Ukraine, tel. +38 (056) 273-15-09, e-mail: [v.kozachyna@gmail.com](mailto:v.kozachyna@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-6894-5532

<sup>5</sup> 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 (050) 452-43-63, e-mail: [tymoshenko.liubov@pdaba.edu.ua](mailto:tymoshenko.liubov@pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0002-8081-5458

**Abstract. Problem statement.** The operation of many industries is associated with dust and thermal air pollution. Particularly intense dust pollution of the air occurs during the operation of the mining complex. Intense thermal air pollution occurs during fires. Fires are a dangerous phenomenon at industrial and civil facilities. If a fire occurs at an industrial facility where oil storage facilities are located, a very intensive area of thermal pollution of the atmospheric air arises. This creates a risk of thermal injury to workers and a risk of ignition of oil storage facilities located near the source of ignition. An important practical task arises – reducing the risk of ignition of neighboring storage facilities. One of the means of reducing the risk of ignition is the use of protective screens, gabions at industrial sites. For practice, it is important to determine in advance the stability of such structures under the influence of a heat wave and to assess the "contribution" of these structures to reducing the air temperature near neighboring oil storage facilities. Reducing the air temperature near neighboring storage facilities increases the stability of bulk structures. Solving this class of problems requires the use of specialized mathematical models of aerodynamics and heat transfer. **The purpose of the article.** Creation of a CFD model for assessing thermal fields at an industrial site in the event of a fire and development of numerical models for predicting dust pollution of the air environment. **Methodology.** To simulate thermal fields at an industrial site, a potential flow and heat transfer model is used. To simulate the heating of a protective structure (shield), a one-dimensional heat conduction equation is used. Numerical integration of the modeling equations is carried out using explicit schemes. A mass transfer equation is used to model dust air pollution. **Scientific novelty.** Two numerical models are proposed for a comprehensive solution to the problem of determining the temperature field at an industrial site and inside a protective structure (screen) used to reduce the thermal load on a neighboring oil storage facility. Proposed numerical models for the analysis of dust air pollution. **Practical significance.** The implementation of the developed numerical models is implemented in real time. With the practical implementation of numerical models, almost all information regarding thermal fields formed on an industrial site during a fire can be obtained. This information allows you to identify areas with an intense increase in temperature, i.e. areas with a significant risk of injury to workers. **Conclusions.** Effective numerical models are proposed for solving complex problems in the event of a fire at an industrial site and in case of dust emission. The models make it possible to assess the level of thermal pollution of atmospheric air at the site and the effectiveness of using a protective screen to reduce the air temperature near a neighboring storage facility.

**Keywords:** *protective barrier; dust pollution; temperature field; fire; heat transfer; mathematical modeling; industrial site; labor protection*

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛОМАСОПЕРЕНОСУ В ЗАДАЧАХ ОХОРОНИ ПРАЦІ : ПИЛОВЕ ТА ТЕПЛОВЕ ЗАБРУДНЕННЯ

БІЛЯЄВ М. М.<sup>1</sup>, *докт. техн. наук, проф.*,  
БЕРЛОВ О. В.<sup>2\*</sup>, *канд. техн. наук, доц.*,  
КІРІЧЕНКО П. С.<sup>3</sup>, *канд. техн. наук, доц.*,  
КОЗАЧИНА В. А.<sup>4</sup>, *канд. техн. наук, доц.*,  
ТИМОШЕНКО Л. О.<sup>5</sup>, *ст. виклад.*

<sup>1</sup> Кафедра гідравліки, водопостачання та фізики, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Дніпровський інститут інфраструктури і транспорту», вул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 373-15-09, e-mail: [biliaiev.m@gmail.com](mailto:biliaiev.m@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-1531-7882

<sup>2\*</sup> Кафедра охорони праці, цивільної та техногенної безпеки, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-34-57, e-mail: [berlov.oleksandr@pdaba.edu.ua](mailto:berlov.oleksandr@pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0002-7442-0548

<sup>3</sup> Кафедра теплогазоводопостачання, водовідведення і вентиляції, Криворізький національний університет, вул. Віталія Матусевича, 11, 50027, Кривий Ріг, Україна, тел. +38 (056) 409-06-06, e-mail: [pasha\\_129@ukr.net](mailto:pasha_129@ukr.net), ORCID ID: 0000-0002-0793-9593

<sup>4</sup> Кафедра гідравліки, водопостачання та фізики, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Дніпровський інститут інфраструктури і транспорту», вул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 273-15-09, e-mail: [v.kozachyna@gmail.com](mailto:v.kozachyna@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-6894-5532

<sup>5</sup> 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 (050) 452-43-63, e-mail: [tymoshenko.liubov@pdaba.edu.ua](mailto:tymoshenko.liubov@pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0002-8081-5458

**Анотація. Постановка проблеми.** Функціонування багатьох виробництв пов'язане з пиловим та тепловим забрудненням повітряного середовища. Особливо інтенсивне пилове забруднення повітряного середовища має місце при функціонуванні гірничорудного комплексу. Інтенсивне теплове забруднення повітря відбувається при пожежах. Пожежі є небезпечним явищем на промислових та цивільних об'єктах. Якщо пожежа трапляється на промисловому об'єкті, де розташовані нафтохранилища, то виникає дуже інтенсивна по розмірам область теплового забруднення атмосферного повітря. Створюється ризик теплового ураження працівників та виникає ризик займання нафтохранилищ, що розташовані поряд з джерелом займання. Виникає важлива практична задача – зменшення ризику займання сусідніх сховищ. Одним з засобів зменшення ризику займання є використання захисних екранів, габіонів на промислових майданчиках. Для практики важливо заздалегідь визначати стійкість таких споруд під дією теплової хвилі та оцінювати «вклад» цих споруд на зменшення температури повітря біля сусідніх нафтохранилищ. Зменшення температури повітря біля сусідніх сховищ підвищує стійкість наливних конструкцій. Рішення такого класу задач потребує використання спеціалізованих математичних моделей аеродинаміки та теплопереносу. **Мета роботи.** Створення CFD моделі для оцінювання теплових полів на промисловому майданчику при виникненні пожежі і розробка чисельних моделей для прогнозування пилового забруднення повітряного середовища. **Методика.** Для моделювання теплових полів на промисловому майданчику використовуються модель потенціальної течії та теплопереносу. Для моделювання нагріву захисної споруди (екран) використовується одновимірне рівняння теплопровідності. Чисельне інтегрування моделюючих рівнянь здійснюється за допомогою явних схем. Для моделювання пилового забруднення повітря використовується рівняння масопереносу. **Наукова новизна.** Запропоновані дві чисельні моделі для комплексного рішення задачі по визначенню поля температур на промисловому майданчику та всередині захисної споруди (екран), що використовується для зменшення теплового навантаження на сусіднє нафтохранилище. Запропоновані чисельні моделі для аналізу пилового забруднення повітря. **Практична значущість.** Реалізація розроблених чисельних моделей реалізується в масштабі реального часу. При практичній реалізації чисельних моделей може бути отримана практично уся інформація відносно теплових полів, що формуються на промисловому майданчику при пожежі. Ця інформація дозволяє визначати області з інтенсивним підвищенням температури, тобто області зі значним ризиком ураження працівників. **Висновки.** Запропоновані ефективні чисельні моделі для рішення комплексних задач при виникненні пожежі на промисловому майданчику або при пиловому забрудненні. Моделі дають можливість оцінювати рівень теплового забруднення атмосферного повітря на майданчику та ефективність використання захисного екрану для зменшення температури повітря біля сусіднього сховища.

**Ключові слова:** захисний екран; пилове забруднення повітря; пожежа; теплоперенос; математичне моделювання; промисловий майданчик; охорона праці

**Problem statement.** Air dust and heat air pollution are often taken place in different industrial processes. Dust pollution is very intensive in mining industry. Extreme situations at industrial facilities often lead to fires (Fig. 1, 2) [1–5; 7; 13–15]. It should be emphasized that fires are a typical phenomenon during drone attacks on oil storage facilities. In such a phenomenon, a significant amount of chemically hazardous substances (fuel combustion products) enter the air and there is a risk of thermal injury to workers.



Fig. 1. Fire at an industrial site – formation of a thermal pollution area at an industrial site  
[<https://www.volynpost.com/news/51948-masshtabna-pozhezha-na-naftobazi-pid-vasytkovym-foto/>]



Fig. 2. Fire at an industrial site – release of toxic substances [<https://www.volynpost.com/news/51948-masshtabna-pozhezha-na-naftobazi-pid-vasytkovym-foto/>]

To analyze the risk of toxic injury to personnel when releasing chemically hazardous substances into the air, the Gaussian model [11] and numerical models [4; 6; 7; 9; 10] are widely used. To analyze the risk of thermal injury, analytical models and numerical models [1–4; 6] are used. Each class of models has its own advantages and disadvantages.

Due to the significant air temperature during a fire, there is a risk of ignition of other

storages [6; 7]. To solve this important problem, it is necessary to have effective mathematical models in order to determine the effectiveness of the use of protective equipment for specific operating conditions in a short time.

**The goal of the article** is development of CFD models to analyze air temperature at an industrial site when oil storage is on fire and development numerical models to simulate air dust pollution in working and residential areas.

### Mathematical models.

Mining industry is the intensive source of dust emissions into atmosphere. Emission of dust occurs during different technology processes and at the mining waste landfills (Fig. 3). It is very important to predict dust concentrations in working areas and in residential areas.



Fig. 3. Mining waste landfill, Krivoi Rig City (Dnipropetrovsk Region, Ukraine)

To simulate dust dispersion in working areas, in residential areas (emissions from mining waste landfill, dust emission during ore loading, etc.) the following equation of mass conservation was used.

$$\begin{aligned} \frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial uS}{\partial x} + \frac{\partial vS}{\partial y} = \\ = \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu_x \frac{\partial S}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu_y \frac{\partial S}{\partial y} \right) + \\ + \sum_{i=1}^n Q_{Si}(t) \delta(x - x_i) \delta(y - y_i) \end{aligned} \quad (1)$$

where:  $S$  – is dust concentration in the atmosphere;  $u$ ,  $v$  – are the components of wind flow velocity vector;  $x_i$ ,  $y_i$  – are the Cartesian coordinates of the  $i$ -th source of dust emission;  $t$  – is time;  $\mu_x$ ,  $\mu_y$  – are dispersion coefficients;

$\delta(x_i, y_i)$  – is Dirac's delta function, which is used to set the location of dust emission source;  $Q$  – is dust emission rate.

For equation (1), the boundary conditions are as following:

1) at  $t = 0$ , dust concentration is set in computational region;

2) at the boundary where the flow enters the computational region, the boundary condition is  $C = C_1$ , where  $C_1$  is a known dust concentration;

3) at the boundary where the flow leaves the computational region the boundary condition is,  $\frac{\partial C}{\partial n} = 0$ , where  $n$  is a unit vector of the normal to the boundary.

For numerical integration of mass conservation equation two numerical models were built. For the first numerical model the following splitting was carried out:

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial uS}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu_x \frac{\partial S}{\partial x} \right), \quad (2)$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial vS}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu_y \frac{\partial S}{\partial y} \right), \quad (3)$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} = \sum_{i=1}^n Q_{si}(t) \delta(x - x_i) \delta(y - y_i). \quad (4)$$

Two steps scheme of splitting for Eq. (2) was as follows:

– at the first step:

$$S_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} = S_{i,j}^n - \Delta t \frac{u_{i+1,j}^+ S_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} - u_{i,j}^+ S_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta x} + \Delta t \mu_x \frac{-S_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + S_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}}}{2\Delta x^2} + \Delta t \mu_x \frac{-S_{i,j}^n + S_{i+1,j}^n}{2\Delta x^2}$$

– at the second:

$$S_{i,j}^{n+1} = S_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} - \Delta t \frac{u_{i+1,j}^- S_{i+1,j}^{n+1} - u_{i,j}^- S_{i,j}^{n+1}}{\Delta x} + \Delta t \mu_x \frac{-S_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + S_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}}}{2\Delta x^2} + \Delta t \mu_x \frac{-S_{i,j}^{n+1} + S_{i+1,j}^{n+1}}{2\Delta x^2}.$$

where  $u^+ = \frac{u+|u|}{2}$ ,  $u^- = \frac{u-|u|}{2}$ .

Two steps scheme of splitting for Eq. (3) was as follows:

– at the first step:

$$S_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} = S_{i,j}^n - \Delta t \frac{v_{i,j+1}^+ S_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} - v_{i,j}^+ S_{i,j-1}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta y} + \Delta t \mu_y \frac{-S_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + S_{i,j-1}^{n+\frac{1}{2}}}{2\Delta y^2} + \Delta t \mu_y \frac{-S_{i,j}^n + S_{i,j+1}^n}{2\Delta y^2},$$

– at the second step:

$$S_{i,j}^{n+1} = S_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} - \Delta t \frac{v_{i,j+1}^- S_{i,j+1}^{n+1} - v_{i,j}^- S_{i,j}^{n+1}}{\Delta y} + \Delta t \mu_y \frac{-S_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + S_{i,j-1}^{n+\frac{1}{2}}}{2\Delta y^2} + \Delta t \mu_y \frac{-S_{i,j}^{n+1} + S_{i,j+1}^{n+1}}{2\Delta y^2},$$

$$\text{де } v^+ = \frac{v+|v|}{2}, v^- = \frac{v-|v|}{2}.$$

Euler's method was used for numerical integration of Eq. (4).

The second numerical model for numerical integration of Eq. (1) was based on the following splitting of Eq. (1):

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial uS}{\partial x} + \frac{\partial vS}{\partial y} = 0, \quad (5)$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu_x \frac{\partial S}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu_y \frac{\partial S}{\partial y} \right), \quad (6)$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \sum_{i=1}^N Q_i \delta(x - x_i) \delta(y - y_i). \quad (7)$$

Scheme of splitting for Eq. (5) was as follows:

– at the first step:

$$\frac{S_{i,j}^k - S_{i,j}^n}{\Delta t} + L_x^+ S^k + L_y^+ S^k = 0,$$

– at the second step:

$$\frac{S_{i,j}^{n+1} - S_{i,j}^k}{\Delta t} + L_x^- S^{n+1} + L_y^- S^{n+1} = 0,$$

where:

$$\frac{\partial u^+ S}{\partial x} \approx \frac{u_{i+1,j}^+ S_{i,j}^{n+1} - u_{i,j}^+ S_{i-1,j}^{n+1}}{\Delta x} = L_x^+ S^{n+1},$$

$$\frac{\partial v^- S}{\partial y} \approx \frac{v_{i,j+1}^- S_{i,j+1}^{n+1} - v_{i,j}^- S_{i,j}^{n+1}}{\Delta y} = L_y^- S^{n+1},$$

etc.

Scheme of splitting for Eq. (6) was as follows:

– at the first step:

$$\frac{S_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} - S_{i,j}^n}{\Delta t} = \left[ \mu_x \frac{-S_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + S_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta x^2} + \mu_y \frac{-S_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + S_{i,j-1}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta y^2} \right],$$

– at the second step:

$$\frac{S_{i,j}^{n+1} - S_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta t} = \left[ \mu_x \frac{S_{i+1,j}^{n+\frac{1}{2}} - S_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta x^2} + \mu_y \frac{S_{i,j+1}^{n+\frac{1}{2}} - S_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta y^2} \right].$$

Unknown concentration  $S$  was computed using explicit formulae in all finite difference schemes.

In the event of a fire at an industrial site, various types of structures can be used to protect objects – walls, gabions, etc. Therefore, an important task arises to estimate the time when the protective function of the structure decreases and the risk of its destruction appears. Theoretical solution of this problem is based on application of specialized mathematical models. It should be noted that this problem requires the solution of two related “subproblems”:

1. Forecasting the dynamics of thermal field formation at an industrial site and near a protective wall.

2. Prediction of temperature field in protective barrier (screen) and determination of the time when, due to heating of the wall, its destruction may begin.

For mathematical modeling of the temperature fields at an industrial site during a fire, equation of energy is used:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial uT}{\partial x} + \frac{\partial vT}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left( a_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( a_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) = 0, \quad (8)$$

where  $T$  – air temperature at the industrial site;  $a_x, a_y$  – air thermal conductivity coefficients;

$u, v$  – components of the air flow velocity vector at an industrial site;  $t$  – time.

Boundary conditions:

1. initial condition:  $T_{t=0} = T_{A0}$ , where  $T_{A0}$  – the temperature of the air flow at the industrial site before the fire starts is known;

2. at the inlet boundary it was set that  $T = T_{in}$ , where  $T_{entrance}$  was the temperature of the air flow before the fire;

3. at the outlet boundary:  $\frac{\partial T}{\partial \vec{n}} \Big|_{CD} = 0$ , where

$\vec{n}$  – unit vector of the external normal to the boundary;

4. an «internal» boundary condition of the first kind is set at the fire site:  $T = T_0$ , where  $T_0$  – known temperature.

To determine the air flow velocity field at an industrial site, a potential motion model is used, the modeling equation has the form:

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} = 0, \quad (9)$$

where  $P$  – air flow velocity potential.

To solve equation (9), boundary and initial conditions were as follows:

1. at the inlet boundary  $\frac{\partial P}{\partial \vec{n}} \Big|_{AB} = U$ , where

$U$  is wind velocity;

2. at the outlet boundary:  $P = P_0 + const$ , where  $P_0$  – arbitrary constant;

3. on solid surfaces, a protective barrier, and the upper boundary of the calculation area, the following condition is realized:

$\frac{\partial P}{\partial \vec{n}} \Big|_{surface} = 0$ , where  $\vec{n}$  – unit vector to the surface.

After determining the velocity potential field, air flow velocity components are calculated as follows:

$$u = \frac{\partial P}{\partial x}, v = \frac{\partial P}{\partial y}. \quad (10)$$

To compute the temperature inside protective barrier, the following equation was used:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = (a_x \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}), \quad (11)$$

where  $T$  – temperature inside the barrier (wall);  $a_x$  – thermal conductivity coefficient of the wall material;  $t$  – time.

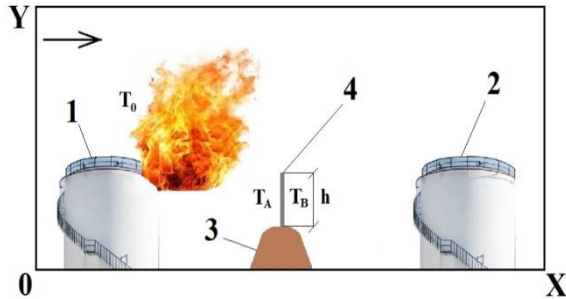


Fig. 4. Sketch of computational region (protective barrier at the hill): 1 – oil storage tank № 1, 2 – oil storage tank № 2, 3 – hill, 4 – protective barrier

For equation (11), the following boundary conditions are implemented (Fig. 4):

1. On the left boundary (on the outside of the wall), the air temperature in the open area is given, which changes over time:

$$T_A = T(t), \quad (12)$$

where  $t$  – time.

2. The temperature value is set on the left boundary of this wall  $T_A = f(t, h)$  – is the temperature of the atmospheric air behind the wall, which changes with time  $t$  varies with the height of the barrier  $h$ . On the right boundary of the protective wall, the current temperature value is also used, which is determined by solving equation (8), i. e.  $T_B = f(t, h)$ .

Initial condition – this is the temperature value inside the wall  $T_A$ .

Thus, the solution of equation (11) is carried out using a boundary condition of the first kind on both boundaries, which vary with time.

Thus, in this paper, a related problem is solved, namely: a compatible solution of equations (8), (9), (11) is performed under the corresponding boundary conditions. The solution algorithm is as follows:

1. The “external” problem is solved, that is, by solving the modeling equation of aerodynamics, the air velocity field in the study area is determined.

2. The “external” problem is solved, that is, by solving the modeling equation (8), the temperature field at the industrial site and around the protective barrier is determined for a specific moment in time.

3. The calculation of the wall heating process begins, taking into account the specified boundary conditions.

4. Next, for a new calculation step in time, a new value of the air temperature at the industrial site and around the protective barrier is calculated.

5. The wall heating is again calculated for the new temperature field at the industrial site.

In this way, the non-stationary value of the wall temperature is determined. Next, the temperature inside the wall is compared with the temperature at which the wall collapse begins  $T_{col}$ . The time it takes to reach this temperature indicates the time when the protective structure begins to collapse.

*Numerical models.* Numerical integration of equation for the velocity potential, was performed using explicit scheme. At the first step, Equation (9) was transformed to the following form:

$$\frac{\partial P}{\partial t} = \frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2}, \quad (13)$$

where  $t$  – fictitious time.

At the second step, the following approximation was then used:

$$P_{i,j}^{n+1} = P_{i,j}^n + \Delta t \left[ \frac{P_{i+1,j}^n - 2P_{i,j}^n + P_{i-1,j}^n}{\Delta x^2} + \frac{P_{i,j+1}^n - 2P_{i,j}^n + P_{i,j-1}^n}{\Delta y^2} \right].$$

The calculation for this dependence ends when:

$$|P_{i,j}^{n+1} - P_{i,j}^n| \leq \varepsilon,$$

where  $P_{i,j}^{n+1}$ ,  $P_{i,j}^n$  are velocity potential value at different iterations;  $\varepsilon = 0.001$ .

The values of the velocity components are calculated on the sides of the cells as follows:

$$u_{ij} = \frac{P_{i,j} - P_{i-1,j}}{\Delta x}; \quad v_{ij} = \frac{P_{i,j} - P_{i,j-1}}{\Delta y}.$$

For numerical integration of equation (8), the following approximation of the derivatives is performed:

$$\begin{aligned}\frac{\partial u T}{\partial x} &= \frac{\partial u^+ T}{\partial x} + \frac{\partial u^- T}{\partial x}; \\ \frac{\partial v T}{\partial y} &= \frac{\partial v^+ T}{\partial y} + \frac{\partial v^- T}{\partial y}; \\ u^+ &= \frac{u + |u|}{2}, \quad u^- = \frac{u - |u|}{2}; \\ v^+ &= \frac{v + |v|}{2}, \quad v^- = \frac{v - |v|}{2}; \\ \frac{\partial u^+ T}{\partial x} &\approx \frac{u_{i+1,j}^+ T_{i,j}^{n+1} - u_{i,j}^+ T_{i-1,j}^{n+1}}{\Delta x} = L_x^+ T^{n+1}; \\ \frac{\partial u^- T}{\partial x} &\approx \frac{u_{i,j}^- T_{i+1,j}^{n+1} - u_{i,j}^- T_{i,j}^{n+1}}{\Delta x} = L_x^- T^{n+1}; \\ \frac{\partial v^+ T}{\partial y} &\approx \frac{v_{i,j+1}^+ T_{i,j}^{n+1} - v_{i,j}^+ T_{i,j-1}^{n+1}}{\Delta y} = L_y^+ T^{n+1}; \\ \frac{\partial v^- T}{\partial y} &\approx \frac{v_{i,j+1}^- T_{i,j+1}^{n+1} - v_{i,j}^- T_{i,j}^{n+1}}{\Delta y} = L_y^- T^{n+1}; \\ \frac{\partial}{\partial x} \left( a_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) &\approx a_x \frac{T_{i+1,j}^{n+1} - T_{i,j}^{n+1}}{\Delta x^2} - a_x \frac{T_{i,j}^{n+1} - T_{i-1,j}^{n+1}}{\Delta x^2} = \\ &= M_{xx}^- T^{n+1} + M_{xx}^+ T^{n+1}, \\ \frac{\partial}{\partial y} \left( a_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) &\approx a_y \frac{T_{i,j+1}^{n+1} - T_{i,j}^{n+1}}{\Delta y^2} - a_y \frac{T_{i,j}^{n+1} - T_{i,j-1}^{n+1}}{\Delta y^2} = \\ &= M_{yy}^- T^{n+1} + M_{yy}^+ T^{n+1}.\end{aligned}$$

Taking into account these dependencies, the approximation of equation (8) has the form:

$$\begin{aligned}\frac{T_{ij}^{n+1} - T_{ij}^n}{\Delta t} + L_x^+ T^{n+1} + L_x^- T^{n+1} + L_y^+ T^{n+1} + L_y^- T^{n+1} &= (14) \\ &= (M_{xx}^+ T^{n+1} + L_{xx}^- T^{n+1} + L_{yy}^+ T^{n+1} + L_{yy}^- T^{n+1}).\end{aligned}$$

Next, there is a splitting of (14) into four steps:

– on the first step ( $k = \frac{1}{4}$ ):

$$\begin{aligned}\frac{T_{i,j}^{n+k} - T_{i,j}^n}{\Delta t} + \frac{1}{2} (L_x^+ T^{n+k} + L_y^+ T^{n+k}) &= (15) \\ &= \frac{1}{4} (M_{xx}^+ T^{n+k} + M_{xx}^- T^n + M_{yy}^+ T^{n+k} + M_{yy}^- T^n);\end{aligned}$$

– on the second step ( $k = n + \frac{1}{2}, c = n + \frac{1}{4}$ ):

$$\begin{aligned}\frac{T_{ij}^k - T_{ij}^c}{\Delta t} + \frac{1}{2} (L_x^- T^k + L_y^- T^k) &= (16) \\ &= \frac{1}{4} (M_{xx}^- T^k + M_{xx}^+ T^c + M_{yy}^- T^k + M_{yy}^+ T^c);\end{aligned}$$

– on the third step ( $k = n + \frac{3}{4}, c = n + \frac{1}{2}$ )

dependency (16) is used;

– on the fourth step ( $k = n + 1, c = n + \frac{3}{4}$ )

dependence (15) is used.

For numerical integration of the modeling equation (11), an explicit difference scheme is used:

$$\begin{aligned}T_i^{n+1} &= T_i^n + Vt \cdot a_1 \frac{T_{i+1}^n - T_i^n}{\Delta x^2} + \\ &+ Vt \cdot a_2 \frac{-T_i^n + T_{i-1}^n}{\Delta x^2}.\end{aligned}$$

When using a non-uniform wall material, the thermal diffusivity coefficients are determined as follows (if, for example, the material has two layers of different thermal diffusivities):

$$a_1 = \frac{2(a_{i+1} \cdot a_i)}{a_{i+1} + a_i}, \quad a_2 = \frac{2(a_{i-1} \cdot a_i)}{a_{i-1} + a_i},$$

where  $a_1, a_2$  – thermal conductivity coefficients for different layers of wall material.

FORTTRAN language was used to code numerical equations of developed mathematical model.

**Results.** The developed numerical models were used to solve the modeling problem. A fire at an industrial site is considered.

There are two oil storage facilities on the industrial site. There is an embankment between the storage facilities (scenario № 1), and a protective barrier is located on the embankment (scenario № 2) (Fig. 4, 5).



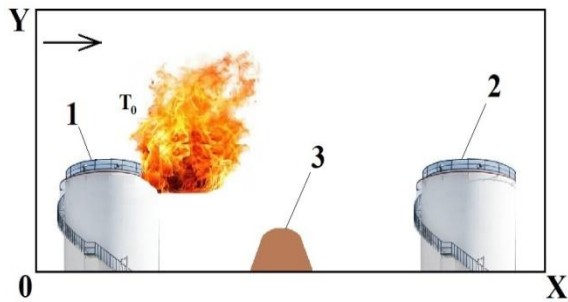


Fig. 5. Sketch of computational region (no protective barrier): 1 – oil storage tank № 1, 2 – oil storage tank № 2, 3 – hill

A protective barrier is located at a certain distance from the oil storage tank (Fig. 4) on the hill. The goal was to determine air temperature at the industrial site and temperature inside the protective barrier.

When conducting a computational experiment, the wind speed was assumed to be 6 m/s, temperature at the fire site 1 300 °C, height of the protective barrier 3 m, thickness of barrier was 4 cm, barrier was made of steel. Initial temperature inside the protective barrier 20 °C. The temperature of the atmospheric air at the industrial site is 20 °C.

The figures below show temperature fields at the industrial site for different scenarios.

As can be seen from Fig. 6, 7, a large area of intense thermal pollution is formed very quickly on the industrial site, which creates a risk of injury to workers. The presence of a protective barrier on the industrial site leads to significant deformation of this area. Mathematical modeling showed that for scenario №1, at time  $t = 2,8$  sec the air temperature on the windward wall of the second oil storage is 338 °C at the low part of the storage and at the upper part of the storage the temperature is 637 °C. For scenario № 2 the air temperature on the windward wall of the second oil storage is 130 °C at the low part of the storage and at the upper part of the storage the temperature is 429 °C. It means that the protective barrier allows to decrease temperature near the second oil storage.

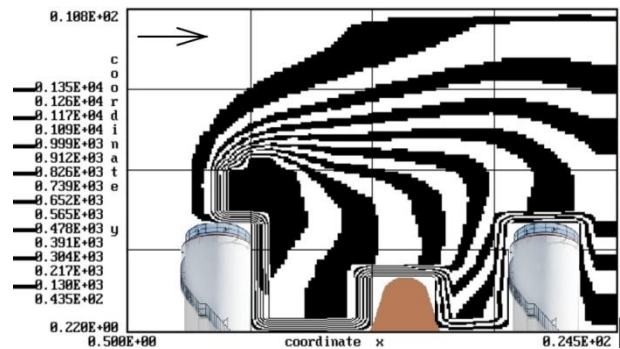


Fig. 6. Isotherms,  $t = 2,8$  sec, no protective barrier (scenario № 1)

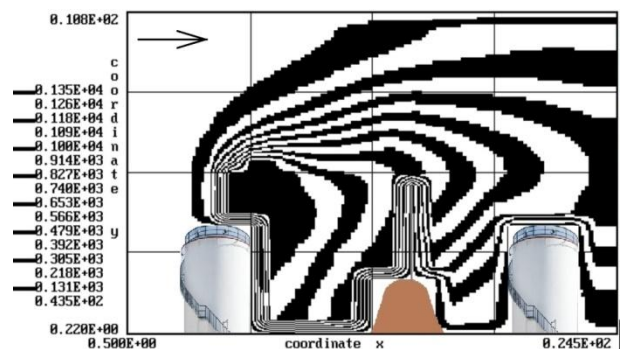


Fig. 7. Isotherms,  $t = 2,8$  sec, with protective barrier (scenario № 2)

Next, Fig. 8 shows the temperature distribution inside the protective barrier at time  $t = 3,6$  sec. The barrier cross-section at a height is considered 1,5 m. Point «0» corresponds to the windward side of the protective barrier.

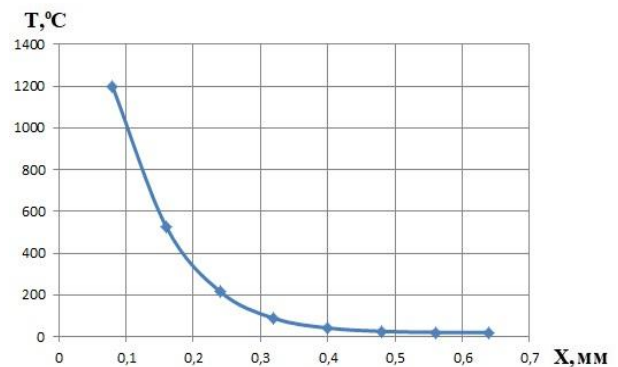


Fig. 8. Temperature distribution inside the protective barrier

As can be seen from Fig. 8, the temperature inside the barrier for the indicated time does not reach the critical value required for the destruction of the structure from thermal action.

Note that the calculation time was 3 sec.

**Scientific novelty and practical value.** CFD model was proposed to compute air temperature at the industrial site in case of

fire at oil storage. The model allows also to predict air temperature inside the protective barrier which was installed at the industrial site. Developed CFD model can be used to predict danger of thermal hitting for workers at the industrial site. Two numerical models for predicting air dust pollution were proposed.

### Conclusions

The article considers the solution of a “coupled” thermal conductivity problem – determining the temperature inside a protective

barrier that is under the influence of a thermal “load” near the fire site.

1. The proposed numerical models allow to compute air temperature at the industrial site and temperature inside the protective barrier.

2. The constructed numerical models are based on the numerical integration of aerodynamics, heat transfer, and thermal conductivity equations.

3. Numerical models to compute air dust pollution are based on explicit formulas, that’s very convenient for their coding.

### REFERENCES

1. Abramov Yu.A., Basmanov A.E. and Tarasenko A.A. *Modelirovaniye pozharov ikh obnaruzheniya lokalizatsii i tusheniya* [Modeling of fires, their detection, localization and extinguishing]. Kharkiv : NUGZU Publ., 2011. (in Russian).
2. Basmanov A.E. and Govalenkov S.S. *Ocenka koncentraciy opasnux xymicheskix veshchestv v vozduxe pry nepreruvnoj aktivnosti istochnika* [Estimation of the concentration of hazardous chemicals in the air with continuous source activity]. *Problemy nadzvyhajnyx situacij* [Problems of Emergency Situations]. 2010, vol. 12, pp. 21–27. (in Russian).
3. Basmanov A.E. *Matematicheskaya model nagreva teplovogo datchika pod teplovym vozdeystviem pozhara razliva nefteprodukta* [Mathematical model of heating a thermal sensor under the thermal effect of an oil spill fire]. *Problemy pozharnoy bezopasnosti* [Fire Safety Issues]. 2012, vol. 32, pp. 21–25. (in Russian).
4. Biliaieva V.V. *Vykorystannya matematychnyx modelej dlya ocinyuvannya rivnya teplovogo ta ximichnogo zabrudnennya robochyx zon*. [Use of mathematical models to assess the level of thermal and chemical contamination of working areas]. *Ukrayinskyj zhurnal budivnytstva ta arxitektury* [Ukrainian Journal of Civil Engineering and Architecture]. 2021, vol. 3 (003), pp. 39–45. (in Ukrainian).
5. Biliaiev M.M., Berlov O.V., Biliaieva V.V. and Cherednichenko L.A. *Ocinka ryzyku termichnogo urazhennya u vypadku avariynogo gorinnya* [Assessment of the risk of thermal injury in case of accidental burning]. *Visnyk Prydniprovskoyi derzhavnoyi akademiyi budivnytstva ta arxitektury* [Bulletin of the Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture]. 2020, vol. 6, pp. 54–60. (in Ukrainian).
6. Biliaiev M.M., Kalashnikov I.V., Biliaieva V.V., Kozachyna V.A. and Berlov O.V. *Matematychni modelyuvannya v zadachakh ocinky ryzyku na potencijno nebezpechnykh ob'ekтах : monografiya* [Mathematical modeling in risk assessment problems at potentially hazardous facilities : monograph]. Dnipro : Zhurfond Publ., 2021, 270 p. (in Ukrainian).
7. Vinogradov A.G. *Modelyuvannya procesu formuvannya vodyanoyi zavisy za dopomogoyu programnogo kompleksu FlowVision* [Modeling of the water curtain formation process using the FlowVision software complex]. *Problemy pozharnoy bezopasnosti pozhezhna bezpeka : teoriya i praktyka : zbirnyk naukovykh prac* [Fire Safety : Theory and Practice : coll. of sc.c works]. 2010, vol. 6, pp. 19–25. (in Ukrainian).
8. Stoetskiy V.F., Golin'ko V.I. and Dranishnikov L.V. *Otsenka riska pri avariyaх tekhnogennogo kharaktera* [Risk assessment for accidents of anthropogenic nature]. *Naukovyi visnyk NHU* [Scientific Bulletin of NSU]. 2014, no. 3, pp. 117–124. (in Russian).
9. Zgurovskiy M.Z., Skopetskiy V.V., Khrushch V.K. and Belyaev N.N. *Chislennoye modelirovaniye rasprostraneniya zagryazneniya v okruzhayushchey srede* [Numerical modeling of pollution spreading in the environment]. Kyiv : Naukova Dumka Publ., 1997, 368 p. (in Russian).
10. Biliaiev M. Numerical Simulation of Indoor Air Pollution and Atmosphere Pollution for Regions Having Complex Topography. *Air Pollution Modeling and its Application XXI* (Springer). 2012, pp. 87–91.
11. Elhelw M., El-Shobaky A., Attia A. and El-Maghlany W.M. Advanced dynamic modeling study of fire and smoke of crude oil storage tanks. *Process Safety and Environmental Protection*. 2021, no. 146, pp. 670–685. doi: 10.1016/j.psep.2020.12.002.
12. Ilic P., Ilic S. and Stojanovic Bjelic L. Hazard modelling of accidental release chlorine gas using modern tool – ALOHA Software. *Quality of Life*. 2018, no. 9, pp. 38–45.
13. Matveev Y., Abu-Abad F., Zhironkina O. and Zhironkin S. Simulation Modeling of the Process of Danger Zone Formation in Case of Fire at an Industrial Facility. *Fire*. 2024, no 7, p. 221. URL: <https://doi.org/10.3390/fire7070221>

14. Paula H.M. Insights from 595 tank farm fires from around the world. *Process Safety and Environmental Protection*. 2023, no. 171. pp. 773–782. URL: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2023.01.058>
15. Sun S., Gura D. and Dong Bo. Fire safety assessment models based on machine learning methods for the coal industry. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*. 2022, no. 231 (2), p. 104693. DOI: 10.1016/j.chemolab.2022.104693.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Абрамов Ю. А., Басманов А. Е., Тарасенко А. А. Моделирование пожаров, их обнаружения локализации и тушения. Харьков : НУТЗУ, 2011. 927 с.
2. Басманов А. Е., Говаленков С. С. Оценка концентрации опасных химических веществ в воздухе при непрерывной активности источника. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. 2010. Вип. 12. С. 21–27.
3. Басманов А. Е. Математическая модель нагрева теплового датчика под тепловым воздействием пожара разлива нефтепродукта. *Проблемы пожарной безопасности*. 2012. Вип. 32. С. 21–25.
4. Біляєва В. В. Використання математичних моделей для оцінювання рівня теплового та хімічного забруднення робочих зон. *Український журнал будівництва та архітектури*. 2021. № 3 (003). С. 39–45.
5. Біляєв М. М., Берлов О. В., Біляєва В. В., Чередниченко Л. А. Оцінка ризику термічного ураження у випадку аварійного горіння. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2020. № 6. С. 54–60.
6. Біляєв М. М., Калашніков І. В., Біляєва В. В., Козачина В. А., Берлов О. В. Математичне моделювання в задачах оцінки ризику на потенційно небезпечних об'єктах : монографія. Дніпро : Журфонд, 2021. 270 с.
7. Виноградов А. Г. Моделювання процесу формування водяної завіси за допомогою програмного комплексу FlowVision. *Пожарна безпека: теорія і практика : зб. наук. пр.* 2010. № 6. С. 19–25.
8. Стоецкий В. Ф., Голинько В. И., Дранишников Л. В. Оценка риска при авариях техногенного характера. *Научный вестник НГУ*. 2014. № 3. С. 117–124.
9. Згуровский М. З., Скопецкий В. В., Хрущ В. К., Беляев Н. Н. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде. Київ : Наукова думка, 1997. 368 с.
10. Biliaiev M. Numerical Simulation of Indoor Air Pollution and Atmosphere Pollution for Regions Having Complex Topography. *Air Pollution Modeling and its Application XXI (Springer)*. 2012. Pp. 87–91.
11. Elhelw M., El-Shobaky A., Attia A., El-Maghlany W. M. Advanced dynamic modeling study of fire and smoke of crude oil storage tanks. *Process Safety and Environmental Protection*. 2021. № 146. Pp. 670–685. doi: 10.1016/j.psep.2020.12.002.
12. Ilic P., Ilic S., Stojanovic Bjelic L. Hazard modelling of accidental release chlorine gas using modern tool – ALOHA Software. *Quality of Life*. 2018. № 9. Pp. 38–45.
13. Matveev Y., Abu-Abed F., Zhironkina O., Zhironkin S. Simulation Modeling of the Process of Danger Zone Formation in Case of Fire at an Industrial Facility. *Fire*. 2024. № 7. P. 221. URL: <https://doi.org/10.3390/fire7070221>
14. Paula H. M. Insights from 595 tank farm fires from around the world. *Process Safety and Environmental Protection*. 2023. № 171. Pp. 773–782. URL: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2023.01.058>
15. Sun S., Gura D., Dong Bo. Fire safety assessment models based on machine learning methods for the coal industry. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*. 2022. № 231 (2). P. 104693. DOI: 10.1016/j.chemolab.2022.104693.

Надійшла до редакції: 12.04.2025.

УДК 534.85:004.942

DOI: 10.30838/UJCEA.2312.270425.154.1172

## MODELLING OF THE PROPAGATION OF AIRCRAFT NOISE, TAKING INTO ACCOUNT THE DIRECTION OF ITS ACOUSTIC RADIATION

ZAKHAROV Yu.I.<sup>1\*</sup>, *Cand. Sc. (Tech.), Prof.*,

ZAKHAROV V.Yu.<sup>2</sup>,

ZAKHAROV I.Yu.<sup>3</sup>,

OSYPCHUK M.M.<sup>4</sup>, *Cand. Sc. (Phys. and Mathem.), Assoc. Prof.*

<sup>1\*</sup> 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, e-mail: [zakharov.yuriy@pdaba.edu.ua](mailto:zakharov.yuriy@pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0002-6048-6677

<sup>2</sup> 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, e-mail: [cnc72mail@gmail.com](mailto:cnc72mail@gmail.com), ORCID ID: 0000-0001-8203-2791

<sup>3</sup> 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, e-mail: [zakharovigor77@gmail.com](mailto:zakharovigor77@gmail.com), ORCID ID: 0009-0007-4149-7892

<sup>4</sup> Department of Fundamental and Natural Sciences, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, e-mail: [osypchuk.mykola@pdaba.edu.ua](mailto:osypchuk.mykola@pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0002-1524-5479

**Abstract. Statement of the problem.** The increasing levels of noise pollution caused by infrastructure development and growing traffic flows, particularly aviation traffic, have become a serious environmental and social issue. Excessive noise levels negatively affect human health, leading to physiological and psychological disorders and reducing the quality of life. In this context, the study of noise conditions at sites requiring protection from acoustic impacts is of particular relevance. **Methods of research.** This paper examines the methodology for predicting and assessing noise pollution using modern computational modeling tools. Specifically, the “AcousticLab” software package is utilized, based on the principles of applied acoustics, enabling the analysis of sound wave propagation processes in various environments. The primary focus is on modeling aviation noise, one of the most prevalent sources of acoustic impact in urban areas and near airports. **The research results** demonstrate the possibility of creating detailed models of noise propagation that take into account geometric and physical features of the area, types of noise sources, and their characteristics. This approach allows for accurate calculations of acoustic impact levels, prediction of their spatial distribution, and assessment of risks to public health. **Scientific novelty.** The proposed methodology provides instrumental support for developing noise protection strategies, including designing screens, barriers, and optimizing spatial planning of territories. Thus, the use of the “AcousticLab” software package enhances the effectiveness of noise monitoring and management, minimizing the negative impact of noise pollution on humans and the environment.

**Keywords:** simulation model; air transport; noise; acoustic pollution

## МОДЕЛЮВАННЯ ПОШИРЕННЯ АВІАЦІЙНОГО ШУМУ З УРАХУВАННЯМ СПРЯМОВАНOSTІ ЙОГО АКУСТИЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

ЗАХАРОВ Ю. І.<sup>1\*</sup>, *канд. техн. наук, проф.*,

ЗАХАРОВ В. Ю.<sup>2</sup>,

ЗАХАРОВ І. Ю.<sup>3</sup>,

ОСИПЧУК М. М.<sup>4</sup>, *канд. ф.-м. наук, доц.*

<sup>1\*</sup> Кафедра архітектури, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, e-mail: [zakharov.yuriy@pdaba.edu.ua](mailto:zakharov.yuriy@pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0002-6048-6677

<sup>2</sup> Кафедра архітектури, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, e-mail: [cnc72mail@gmail.com](mailto:cnc72mail@gmail.com), ORCID ID: 0000-0001-8203-2791

<sup>3</sup> Кафедра архітектури, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, e-mail: [zakharovigor77@gmail.com](mailto:zakharovigor77@gmail.com), ORCID ID: 0009-0007-4149-7892

<sup>4</sup> Кафедра фундаментальних і природничих дисциплін, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, e-mail: [osypchuk.mykola@pdaba.edu.ua](mailto:osypchuk.mykola@pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0002-1524-5479

**Анотація. Постановка проблеми.** Зростаючий рівень шумового забруднення внаслідок розвитку інфраструктури та збільшення інтенсивності транспортних потоків, зокрема авіаційного транспорту, стає серйозною екологічною та соціальною проблемою. Надмірний рівень шуму негативно впливає на здоров'я людей, спричиняючи фізіологічні та психологічні розлади, знижуючи якість життя населення. У цьому контексті дослідження шумового режиму на об'єктах, що потребують захисту від акустичних впливів, набуває особливої актуальності. **Методи дослідження.** У представленій роботі розглянуто методологію прогнозування та оцінки шумового забруднення з використанням сучасних інструментів комп'ютерного моделювання. Зокрема, використано програмний комплекс «AcousticLab», який ґрунтується на положеннях прикладної акустики та дозволяє проводити аналіз процесів поширення звукових хвиль у різних середовищах. Основна увага приділяється моделюванню авіаційного шуму, як одного з найпоширеніших джерел шумового впливу в урбанізованих зонах і поблизу аеропортів. **Результати** дослідження демонструють можливість створення детальних моделей розповсюдження шуму, що враховують геометричні та фізичні особливості місцевості, типи джерел шуму та їх характеристики. Це дозволяє здійснювати точні розрахунки рівнів акустичного впливу, прогнозувати їх просторовий розподіл і оцінювати ризики для здоров'я населення. **Наукова новизна.** Запропонований підхід забезпечує інструментальну підтримку для розробки стратегій шумозахисту, включаючи проєктування екранів, бар'єрів та оптимізацію просторового планування територій. Таким чином, використання програмного комплексу «AcousticLab» сприяє підвищенню ефективності моніторингу та управління шумовим середовищем, дозволяючи мінімізувати негативний вплив шумового забруднення на людину та довкілля.

**Ключові слова:** імітаційна модель; авіаційний транспорт; шум; акустичне забруднення

**Introduction.** When developing a master plan for a populated area [1] and at subsequent stages of design and construction, a study is made of the impact on the population of various types of industrial, transport, household and other sources of external noise pollution, an assessment of the sanitary and ecological state of the territory and objects located on it is carried out, development and implementation of practical recommendations for its improvement [2–5].

Carrying out a detailed survey of the noise regime of different types of buildings (industrial, public, residential, etc.), determining the acoustic characteristics of the sources of noise pollution affecting them, checking the acoustic efficiency of the applied architectural and planning, construction and acoustic, engineering and construction, organizational and other means and noise protection methods begins with an assessment of the current state of the acoustic regime of the territory, which is usually carried out by means of one-time (less often long-term multipoint) full-scale instrumental measurements of the

actual values of source noise levels at the protected objects under study [6].

The software package for calculating, evaluating, analyzing, predicting and visualizing the acoustic regime of urban development and the adjacent territory “AcousticLab” implements the developed theoretical calculation that provides a qualitative analysis of the noise regime of the objects of study and results that have equal errors in the acoustic assessment of the compared solutions. This theoretical calculation, using the known provisions of applied acoustics, is the basis for making a noise mode forecast regarding existing or expected sound levels in protected objects.

Acoustic indicators of noise impact are calculated near the external surfaces (at a distance of 2 meters from facades, roofs and other fencing elements) of buildings and structures, as well as on the territory adjacent to them and at a selected distance from the ground level, which allows you to set indicators on the facade at the selected building height. These indicators can be used to assess the degree of negative acoustic impact on the development,

or as initial data for further calculation of acoustic indicators in the premises of protected buildings and structures. These calculations can also be used to compare the acoustic performance of alternative options for architectural planning, structural engineering and other decisions made at various stages of design and construction.

The software package is intended for modelling and quantitative calculation of sound levels at given points in free and built-up areas, as well as for constructing and subsequent visualization of sound fields of various sources of external adverse noise impact, such as: aircraft on aircraft routes, motor vehicles on urban road network, water and rail transport, as well as equipment for industrial, energy, storage and other enterprises. Intra-quarter sources can be taken into account: boiler houses, pumping stations, transformer substations, energy centres, ventilation, pumping and other equipment located near protection facilities; children's and sports games, discos, loading and unloading operations at trade and public catering enterprises, and others.

The software package allows you to simulate point, linear, planar and spatial (arbitrary shape) noise sources, their other acoustic, spatial and temporal parameters, taking into account the direction of the acoustic radiation of sources, their spectral parameters, the nature of sound emission, apply various scales of acoustic and temporal correction, take into account geometric shapes, sizes of sources and obstacles in the way of sound propagation.

The results of calculations can be presented in the form of noise maps built on the basis of flat, three-dimensional (3D) models of the objects under study, for equivalent, maximum, octave (1/3 octave) sound frequencies, linear, or corrected by "A" sound levels (sound pressure).

The software package consists of five modules that take into account the specifics of the operation of simulation models of sound sources. The "Model" module is the main functional module that uses the algorithm of the computer program "AcousticLab" [7], designed to form a model, visualize sound fields that

occur on the external surfaces of buildings and structures, as well as in the adjacent territory. Modules "Point and linear non-directional noise sources" are designed to form a model taking into account the action of stationary (fans, pumps, compressors, other technological, technical and auxiliary equipment) and moving (cars, trains, etc.) noise sources and perform calculation, evaluation, analysis and visualization of the acoustic regime of protected objects. Two more modules "Point and linear directional noise sources" are designed to solve the same problems, taking into account the directionality of noise sources. The directionality of the aircraft noise source is most pronounced. In order to evaluate it, the module "Linear Directional Noise Sources" uses the algorithm of the computer program for calculating the contours of aircraft noise during the operation of aircraft "AcousticLab" [8].

All five subsystems interact with the application server and the "AcousticLab" database, the software product of the automated workspace for the study of the noise regime (AW SNR) and other functional modules of the system.

Below is a fragment of the user manual for the "AcousticLab" software package, which provides a detailed description of the physical meaning of acoustic calculation based on the basic provisions of applied acoustics, demonstrates the sequence of its implementation and presentation of the results.

**Accounting for the directivity of the sound fields of the noise source.** Acoustic calculation often requires taking into account external sources with a pronounced directionality of the sound field, for example, an aircraft noise source [9]. With the external action of other point, linear and spatial transport sources, it should be taken into account that they can have a pronounced directivity of sound radiation (directivity factor  $\Phi \neq 1$ ).

Let us consider in more detail the accounting of external sources using the example of the operation of aircraft engines. Due to the specifics of their functional, technical and design features, aircraft engines radiate sound energy into three-dimensional

space, the surface front of which is an ellipsoid of revolution, aligned with the rotation axis of the fan and engine turbine. At the same time, energy is emitted from the side of the fan and the nozzle of the turbojet engine, having sound levels significantly higher than that emitted in the lateral directions.

The noise regime of the study area is determined by the simultaneous and separate action of point emitters that make up an aviation source, which in turn is an element of aircraft systems and mechanisms with linear dimensions that are quite comparable with the length of the sound waves emitted by them. A distinctive feature of an aircraft noise source from known ground-based sources is that the aircraft source moves at high speed in the air along a trajectory with varying altitude.

Since in the process of movement the aircraft can change the direction of its movement vector in accordance with the route of movement and the flight profile, the direction of sound radiation can significantly affect the noise mode of the objects being examined. Accounting for this parameter by the AcousticLab software product is carried out as follows:

At the beginning of the XYZ Cartesian coordinate system, a single point directional acoustic emitter is placed, having the shape of the front of the acoustic radiation surface in the form of an ellipsoid of rotation in general position ( $\Phi \neq 1$ ). The source can freely move in three-dimensional space. The relations that allow taking into account the shape of such a front of the sound radiation surface in the acoustic calculation are made taking into account the following geometric transformations in three-dimensional space.

The transition from one rectilinear coordinate system in three-dimensional space to another is described in the general case as follows:

$$[x'' y'' z'' 1] = [x y z 1][A].$$

Consider the matrices corresponding to the following basic geometric transformations:

1. Sound source turns:

- around the X axis at an angle  $\alpha$

$$[\sigma_x] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha & 0 \\ 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

- around the Y axis at an angle  $\gamma$

$$[\sigma_y] = \begin{bmatrix} \cos \gamma & 0 & -\sin \gamma & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin \gamma & 0 & \cos \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

- around the Z axis by an angle  $\beta$

$$[\sigma_z] = \begin{bmatrix} \cos \beta & \sin \beta & 0 & 0 \\ -\sin \beta & \cos \beta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

2. Transfer (shift, displacement) to a vector  $(x_2, y_2, z_2)$

$$[T] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ x_2 & y_2 & z_2 & 1 \end{bmatrix};$$

3. Reflection

- relative to the plane  $z = 0$

$$[M_z] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

- relative to the plane  $y = 0$

$$[M_y] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

In the general case, the rotation of the direction vector of acoustic radiation of a single point source around an arbitrary point is implemented by moving the origin of the coordinate system to it, performing the required rotation, and then returning to the original coordinate system XYZ (Fig. 1).



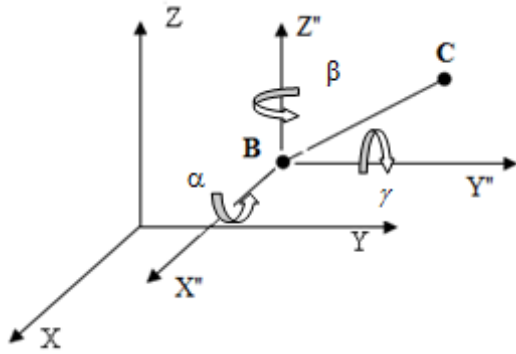


Fig. 1. Geometric scheme for describing the front of the sound radiation surface of a moving directional point noise source along the aircraft trajectory in three-dimensional space

The resulting matrix that specifies the required sequence of transformations (shift to point B  $(x_2, y_2, z_2)$ , rotation through an angle  $\alpha$  around the OX axis, rotation through an angle  $\beta$  around the OZ axis, rotation through an angle  $\gamma$  around the OY axis and then recalculating the result relative to the original coordinate system) has the following form:

$$[A] = [T]^{-1} [\sigma_y] [\sigma_z] [\sigma_x] [T].$$

Thus, successive rotations of the vector  $[x_1, y_1, z_1, 1]$  about the centre at a point  $(x_2, y_2, z_2)$  at certain angles are performed as follows:

$$[x'' \ y'' \ z'' \ 1] = [x_1 \ y_1 \ z_1 \ 1] \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -x_2 & -y_2 & -z_2 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \gamma & 0 & -\sin \gamma & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin \gamma & 0 & \cos \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \beta & \sin \beta & 0 & 0 \\ -\sin \beta & \cos \beta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha & 0 \\ 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ x_2 & y_2 & z_2 & 1 \end{bmatrix}.$$

After performing the product of matrices, we get:

$$\begin{aligned} x'' &= ((x_1 - x_2) \cdot \cos(\gamma) + (z_1 - z_2) \cdot \sin(\gamma)) \cdot \cos(\beta) - \\ &\quad - (y_1 - y_2) \cdot \sin(\beta) + x_2 \\ y'' &= (((x_1 - x_2) \cdot \cos(\gamma) + (z_1 - z_2) \cdot \sin(\gamma)) \cdot \sin(\beta) + \\ &\quad + (y_1 - y_2) \cdot \cos(\beta)) \cdot \cos(\alpha) - (x_1 - x_2) \cdot \sin(\gamma) + \\ &\quad + (z_1 - z_2) \cdot \cos(\gamma) \cdot \sin(\alpha) + y_2 \\ z'' &= (((x_1 - x_2) \cdot \cos(\gamma) + (z_1 - z_2) \cdot \sin(\gamma)) \cdot \sin(\beta) + \\ &\quad + (y_1 - y_2) \cdot \cos(\beta)) \cdot \sin(\alpha) + (x_1 - x_2) \cdot \sin(\gamma) + \\ &\quad + (z_1 - z_2) \cdot \cos(\gamma) \cdot \cos(\alpha) + z_2 \end{aligned}$$

It should be noted that when the vector moves in the opposite direction, i.e. when  $y_2 > y_1$ , to the above transformations, you need to add reflection relative to planes  $y = 0$  and  $z = 0$  (turn BC to  $180^\circ$  and its subsequent movement in the opposite direction):

$$[A] = [T]^{-1} [\sigma_y] [\sigma_z] [\sigma_x] [M_z] [M_y] [T],$$

where:

$$[x'' \ y'' \ z'' \ 1] = [x_1 \ y_1 \ z_1 \ 1] \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -x_2 & -y_2 & -z_2 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \gamma & 0 & -\sin \gamma & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin \gamma & 0 & \cos \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \beta & \sin \beta & 0 & 0 \\ -\sin \beta & \cos \beta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha & 0 \\ 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ x_2 & y_2 & z_2 & 1 \end{bmatrix}.$$

Thus, the resulting vector coordinates have the form:

$$\begin{aligned}
 x'' &= ((x_1 - x_2) \cdot \cos(\gamma) + (z_1 - z_2) \cdot \sin(\gamma)) \cdot \cos(\beta) - \\
 &\quad - (y_1 - y_2) \cdot \sin(\beta) + x_2 \\
 y'' &= -(((x_1 - x_2) \cdot \cos(\gamma) + (z_1 - z_2) \cdot \sin(\gamma)) \cdot \sin(\beta) + \\
 &\quad + (y_1 - y_2) \cdot \cos(\beta)) \cdot \cos(\alpha) - ((x_1 - x_2) \cdot \sin(\gamma) + \\
 &\quad + (z_1 - z_2) \cdot \cos(\gamma)) \cdot \sin(\alpha) + y_2 \\
 z'' &= -(((x_1 - x_2) \cdot \cos(\gamma) + (z_1 - z_2) \cdot \sin(\gamma)) \cdot \sin(\beta) + \\
 &\quad + (y_1 - y_2) \cdot \cos(\beta)) \cdot \sin(\alpha) + ((x_1 - x_2) \cdot \sin(\gamma) + \\
 &\quad + (z_1 - z_2) \cdot \cos(\gamma)) \cdot \cos(\alpha) + z_2
 \end{aligned}$$

For that part of the AcousticLab software product, where the methods of acoustic calculation of sound fields of noise sources are implemented, presented in the form of motion trajectories BC (sections of general position lines on which single directional point emitters are located), finding the angles through the coordinates of the origin  $B(x_2, y_2, z_2)$  and end  $C(x_1, y_1, z_1)$  segment, performed by the following transformations. First, we move the origin of the coordinate system to the point  $B(x_2, y_2, z_2)$ . Next, we rotate the coordinate axes so that the direction of the OY axis corresponds to the direction of the vector  $(x_1 - x_2, y_1 - y_2, z_1 - z_2)$ . In this case, the vector OY will go to OY'', where the coordinates of the latter are calculated as follows:

$$[xy'' \ yy'' \ zy'' \ 1] = [0 \ y \ 0 \ 1] [\sigma_y] [\sigma_z] [\sigma_x].$$

Substituting rotation matrices:

$$\begin{aligned}
 [xy'' \ yy'' \ zy'' \ 1] &= \\
 &= [0 \ y \ 0 \ 1] \cdot \begin{vmatrix} \cos \gamma & 0 & -\sin \gamma & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin \gamma & 0 & \cos \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \cdot \\
 &\cdot \begin{vmatrix} \cos \beta & \sin \beta & 0 & 0 \\ -\sin \beta & \cos \beta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha & 0 \\ 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}.
 \end{aligned}$$

Doing the multiplication, we get:

$$\begin{cases} xy'' = -y \cdot \sin(\beta) & (1) \\ yy'' = y \cdot \cos(\beta) \cdot \cos(\alpha) & (2) \\ zy'' = y \cdot \cos(\beta) \cdot \sin(\alpha) & (3) \end{cases}$$

Further, from the resulting system of equations, we find the angles  $\alpha$  and  $\beta$ . First, dividing (3) by (2) we find the angle  $\alpha$ :

$$\frac{zy''}{yy''} = \frac{y \cdot \cancel{\cos(\beta)} \cdot \sin(\alpha)}{y \cdot \cancel{\cos(\beta)} \cdot \cos(\alpha)} = \operatorname{tg}(\alpha) \Rightarrow \alpha = \operatorname{arctg}\left(\frac{zy''}{yy''}\right).$$

And, since the vectors OY'' and  $(x_1 - x_2, y_1 - y_2, z_1 - z_2)$  are collinear, then the ratio of their respective coordinates are equal, i.e.:

$$\frac{xy''}{x_1 - x_2} = \frac{yy''}{y_1 - y_2} = \frac{zy''}{z_1 - z_2},$$

where:

$$\frac{zy''}{yy''} = \frac{z_1 - z_2}{y_1 - y_2}.$$

With this in mind, we finally get that

$$\alpha = \operatorname{arctg}\left(\frac{z_1 - z_2}{y_1 - y_2}\right).$$

Further dividing (2) by (1) we find the angle  $\beta$ :

$$\frac{yy''}{xy''} = \frac{\cancel{y} \cdot \cos(\beta) \cdot \cos(\alpha)}{-\cancel{y} \cdot \sin(\beta)} = -\operatorname{ctg}(\beta) \cdot \cos(\alpha).$$

Using the known relation:

$$\cos(\operatorname{arctg}(x)) = \frac{1}{\sqrt{1+x^2}}$$

and the previously found angle  $\alpha$ :

$$\cos(\alpha) = \frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{zy''}{yy''}\right)^2}} = \frac{yy''}{\sqrt{yy''^2 + zy''^2}}$$

we get

$$\begin{aligned}
 \operatorname{ctg}(\beta) &= -\frac{yy''}{xy'' \cdot \cos(\alpha)} = -\frac{\cancel{yy''} \cdot \sqrt{yy''^2 + zy''^2}}{xy'' \cdot \cancel{yy''}} \Rightarrow \\
 \operatorname{tg}(\beta) &= \frac{1}{\operatorname{ctg}(\beta)} = -\frac{xy''}{\sqrt{yy''^2 + zy''^2}}.
 \end{aligned}$$

And taking into account the collinearity of the vectors, we finally have:

$$\beta = -\operatorname{arctg}\left(\frac{x_1 - x_2}{\sqrt{(y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2}}\right).$$

The third angle  $\gamma$  is found from the condition of the coplanarity of the vectors  $OY''$   $OZ''$   $OZ$ . To do this, we find the mixed product of these three vectors and equate it to 0.

$$\begin{aligned} OY'' \cdot OZ'' \cdot OZ &= \begin{vmatrix} xy'' & yy'' & zy'' \\ xz'' & yz'' & zz'' \\ 0 & 0 & z \end{vmatrix} = \\ &= -y \cdot \sin(\beta)^2 \cdot z^2 \cdot \sin(\gamma) \cdot \cos(\alpha) + \\ &+ y \cdot \sin(\beta) \cdot z^2 \cdot \cos(\gamma) \cdot \sin(\alpha) - \\ &- z^2 \cdot \sin(\gamma) \cdot \cos(\beta)^2 \cdot y \cdot \cos(\alpha) = \\ &= y \cdot z^2 \cdot (-\sin(\gamma) \cdot \cos(\alpha) + \\ &+ \sin(\beta) \cdot \cos(\gamma) \cdot \sin(\alpha)) = 0 \end{aligned}$$

where:

$$\operatorname{tg}(\gamma) = \operatorname{tg}(\alpha) \sin(\beta).$$

Substituting the previously found values of the angles  $\alpha$  and  $\beta$ , we obtain:

$$\gamma = -\arctg \left( \frac{(z1 - z2) \cdot (x1 - x2)}{(y1 - y2) \cdot \sqrt{(x1 - x2)^2 + (y1 - y2)^2 + (z1 - z2)^2}} \right)$$

With the help of the relations obtained, an acoustic calculation of the sound fields of noise sources with a pronounced directionality of their sound fields is implemented. The initial data on the direction of acoustic radiation of noise sources should be taken from the results of full-scale instrumental measurements, passport characteristics, and from reliable reference sources [6].

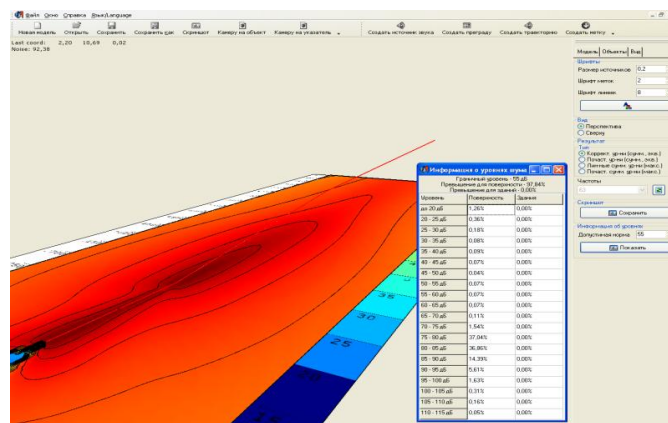


Fig. 2. An example of a 3D model rendering sound fields capturing sound levels in the runway area on the ground from a linear directional aircraft noise source during takeoff

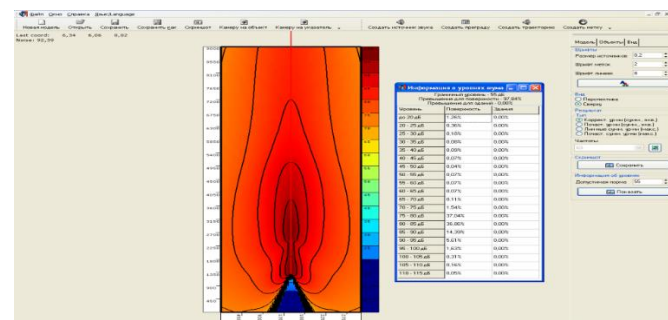


Fig. 3. An example of a 2D model visualizing sound fields capturing sound levels in the runway area on the ground from a linear directional aircraft noise source during takeoff

**An example of building a simulation model of the protected object.** The numerical values of the coordinates of the location of the noise source in the Cartesian coordinate system, to which the selected area is linked, appear in the corresponding windows (“X”, “Y”, “Z”). The numerical values of the acoustic parameters of each noise source are entered in

the appropriate cells opposite each “Frequency” value of the spectral components of sound pressure levels in dB, or equivalent (in terms of energy) corrected sound levels in dBA (Fig. 2, 3).

**Conclusions.** This development improves the simulation method used to assess, analyze and predict the levels of aircraft noise in urban

areas. The improvement of the hardware-software complex “AcousticLab” was carried out to create a special manual and its certification in order to use it to solve the problems of noise protection in Ukraine.

## REFERENCES

1. *Pro Heneral'nu skhemu planuvannya terytoriyi Ukrayiny : Zakon Ukrayiny vid 07.02.2002 № 3059-III. Verkhovna Rada Ukrayiny – ofitsiynе vydannya* [On the general planning scheme of the territory of Ukraine : Law of Ukraine no 07.02.2002 no. 3059-III. Verkhovna Rada of Ukraine – official publication]. *Vidomosti Verkhovnoyi Rady Ukrayiny* [Information of the Verkhovna Rada of Ukraine]. 2002, no. 30, p. 204. (in Ukrainian).
2. *Pro vnesennya zmin do deyakykh zakonodavchykh aktiv Ukrayiny shchodo zakhystu naseleennya vid vplyvu shumu: Zakon Ukrayiny vid 03.06.2004 № 1745-IV. Verkhovna Rada Ukrayiny – ofitsiynе vydannya* [On making changes to some legislative acts of Ukraine regarding the protection of the population from the impact of noise : Law of Ukraine dated June 3, 2004 No. 1745-IV. Verkhovna Rada of Ukraine – official publication]. *Vidomosti Verkhovnoyi Rady Ukrayiny* [Information of the Verkhovna Rada of Ukraine]. 2004, no. 36, p. 434. (in Ukrainian).
3. *Zakhyst terytoriy, budivel' i sporud vid shumu : DBN B.1. Chynnyy z 2013.12.27* [Protection of territories, buildings and structures from noise : DBN B.1.1 – 31:2013. Effective from 2013.12.27]. Kyiv : Ministry of Regional Development and Construction of Ukraine, 2014, 54 p. (in Ukrainian).
4. *Osnovni vymohy do budivel' i sporud. Zakhyst vid shumu: DBN V.1. Chynnyy z 2008.10.01* [Basic requirements for buildings and structures. Noise protection : DBN V.1. 2.10. 2008. Effective from 2008-10-01]. Kyiv : Ministry of Regional Development of Ukraine, 2008, 14 p. (in Ukrainian).
5. *Metodychni rekomendatsiyi z rozrakhunku ta proektuvannya zakhystu vid shumu sil'skohospodars'kykh terytoriy: DSTU-NB V.1. Chynnyy z 2014.01.01* [Guidelines for the calculation and design of noise protection of agricultural area: DSTU–NB V.1.1–33:2013. Valid from 2014-01-01]. Kyiv : Ministry of Regional Development and Construction of Ukraine, 2014, 45 p. (in Ukrainian).
6. *Ukrayina v tsyfrakh 2011 : statystychnyy zbirnyk red. O.H. Osavulenko* [Ukraine in figures 2011 : statistical collection ed. O.H. Osaulenka]. Kyiv : State Statistics Service of Ukraine, 2012, 251 p. (in Ukrainian).
7. *Komp'yuterna prohrama «AcousticLab». Svidotstvo pro reyestratsiyu avtors'koho prava № 43927 vid 22.05.2012. Derzhavna sluzhba intelektual'noyi vlasnosti Ukrayiny* [Computer program “AcousticLab”. Copyright registration certificate No. 43927 dated May 22, 2012. State Service of Intellectual Property of Ukraine]. (in Ukrainian).
8. *Komp'yuterna prohrama «AcousticLab», vkluchena do spysku zatverdzhenykh ICAO CAEP, lyst № AN/17 Sekretarya ICAO CAEP KH. Dzheyn vid 12.02.2016* [Computer program “AcousticLab”, included in the list of ICAO CAEP approved, letter No. AN/17 of ICAO CAEP Secretary H. Jane dated 12.02.2016]. (in Ukrainian).
9. *Doc 9911 ICAO (Dokument Mizhnarodnoyi orhanizatsiyi tsyvil'noyi aviatsiyi) “Rekomendatsiyi shchodo rozrakhunkovoho metodu vyznachennya konturiv shumu navkolo aeroportiv”* [Doc 9911 ICAO (Document of the International Civil Aviation Organization) “Guidelines for the recommended method for calculating noise contours around airports”]. 2008. (in Ukrainian).

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Про Генеральну схему планування території України: Закон України від 07.02.2002 № 3059-III. Верховна Рада України – офіційне видання. *Відомості Верховної Ради України*. 2002. № 30. С. 204.
2. Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо захисту населення від впливу шуму : Закон України від 03.06.2004 № 1745-IV. Верховна Рада України – офіційне видання. *Відомості Верховної Ради України*. 2004. № 36. С. 434.
3. Захист територій, будівель і споруд від шуму : ДБН Б.1. [Чинний з 2013-12-27]. Київ : Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2014. 54 с.
4. Основні вимоги до будівель і споруд. Захист від шуму : ДБН В.1. [Чинний з 2008.10.01]. Київ : Міністерство регіонального розвитку України, 2008. 14 с.
5. Методичні рекомендації з розрахунку та проектування захисту від шуму сільськогосподарських територій : DSTU–NB V.1. [Чинний з 2014.01.01]. Київ : Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2014. 45 с.
6. Україна в цифрах 2011 : статистичний збірник ред. О. Г. Осауленко. Київ : Державна служба статистики України, 2012. 251 с.
7. Комп'ютерна програма «AcousticLab». Свідотство про реєстрацію авторського права № 43927 від 22.05.2012. Державна служба інтелектуальної власності України.
8. Комп'ютерна програма «AcousticLab», включена до списку затверджених ICAO CAEP, лист № AN/17 Секретаря ICAO CAEP Х. Джейн від 12.02.2016.
9. Дос 9911 ICAO (Документ Міжнародної організації цивільної авіації) «Рекомендації щодо розрахункового методу визначення контурів шуму навколо аеропортів», 2008.

Надійшла до редакції: 02.04.2025.

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](mailto:mitomdnipro1997@gmail.com)

Підписано до друку 30.06.2025 р. Формат 60×84 1/8.

Друк цифровий. Умовн. друк. арк. 10,00. Умовн. фарб.-відб. арк. 10,00.

Обл.-видавн. арк. 20,00. Наклад 50 прим. Зам. 215

---

---

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](mailto:mitomdnipro1997@gmail.com)

Sent to press on 30 June 2025. Format 60×84 1/8.

Digital printing. Conventional quire 10,00. Conventional colour imprints 10,00.

Publisher's signatures 20,00. Number of copies 50. Order 215