

ISSN 2786-6696 (print)
ISSN 2786-670X (online)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ОДЕСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ
БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ**

СУЧАСНЕ БУДІВНИЦТВО ТА АРХІТЕКТУРА

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

**Випуск № 9
вересень 2024**

ОДЕСА 2024

СУЧАСНЕ БУДІВНИЦТВО ТА АРХІТЕКТУРА
ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ
ISSN 2786-6696 (print) ISSN 2786-670X (online)

Випуск № 9, вересень 2024

Збірник наукових праць видається під назвою “Сучасне будівництво та архітектура” з 2022 р., періодичність – 4 рази на рік.

Попередня назва збірнику – Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури, з 2000 р.

Засновник і видавець – Одеська державна академія будівництва та архітектури, м. Одеса.

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ №25221-15161ПР від 10 червня 2022 р.

Збірник наукових праць входить до переліку наукових фахових видань України, у яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт. Наказ МОН України №1643 від 28.12.2019 року (категорія Б).

З 2016 р. збірник наукових праць індексується в міжнародній наукометричній базі Index Copernicus.

У збірнику представлені результати наукових і експериментально-теоретичних досліджень у галузі будівництва та архітектури; будівельних конструкцій; будівельних матеріалів та технологій; гідротехнічного та транспортного будівництва; інженерних мереж та обладнання; основ та фундаментів; технології та організації будівельного виробництва.

Призначений для наукових працівників, спеціалістів проектних установ та виробничих підприємств будівельної галузі, аспірантів та магістрів навчальних закладів.

Головний редактор – Вировой В.М. – д-р техн. наук, проф., ОДАБА;

Відповідальний редактор – Кровяков С.О. – д-р техн. наук, доц., ОДАБА;

Відповідальний секретар – Антонюк Н.Р. – к-т техн. наук, доц., ОДАБА.

Редакційна колегія:

Азізов Т.Н. – д-р техн. наук, проф., Уманський державний педагогічний університет ім. П. Тичини (за згодою);

Горик О.В. – д-р техн. наук, проф., Полтавська державна аграрна академія (за згодою);

Клименко Є.В. – д-р техн. наук, проф., ОДАБА;

Кривенко П.В. – д-р техн. наук, проф., Науково-дослідний інститут в’язаних матеріалів ім. В.Д. Глуховського (за згодою);

Крутій Ю.С. – д-р техн. наук, проф., ОДАБА;

Ляшенко Т.В. – д-р техн. наук, проф., ОДАБА;

Плугін А.А. – д-р техн. наук, проф., Український державний університет залізничного транспорту (за згодою);

Саницький М.А. – д-р техн. наук, проф., НУ «Львівська політехніка» (за згодою);

Сур’янінов М.Г. – д-р техн. наук, проф., ОДАБА;

Шинкевич О.С. – д-р техн. наук, проф., ОДАБА;

Czarnecki Lech – Professor, Instytut Techniki Budowlanej, ITB, Warsaw, Польща (за згодою);

Iskhakov Iakov – Ph.D., Professor, Ariel University, Ariel, Ізраїль (за згодою);

Fischer Hans-Bertram – Dr.-Ing., Bauhaus-Universität, Weimar, Німеччина (за згодою);

Kozina Goran – Professor, University North, Хорватія (за згодою);

Milkovic Marin – Ph.D., University North, Хорватія (за згодою);

Ramanathan Hareesh N – Dr., Professor, TCS Institute of Science and Technology, Arakkunnam, Kochi, Kerala, India;

Ribakov Y.I. – Ph.D., Professor, Ariel University, Ariel, Ізраїль (за згодою);

Slapac Mariana – Dr. Habilitat of Art, Cultural Heritage Institut, Chisinau, Молдова (за згодою).

Технічна редакція:

Зайцева О.Ю. – к.філ.н., доц., ОДАБА, завідувача кафедрою «Іноземних мов»;

Рекомендовано до видання Вченою радою ОДАБА

Протокол № 2 від 25.09.2024 р.

Свідоцтво КВ №25221-15161ПР від 10.06. 2022 р.

Наказ МОН України №1643 від 28.12.2019 р. (категорія Б)

ISSN 2786-6696 (print)
ISSN 2786-670X (online)

© Одеська державна академія
будівництва та архітектури
(ОДАБА), 2024

ISSN 2786-6696 (print)
ISSN 2786-670X (online)

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE

ODESSA STATE ACADEMY
OF CIVIL ENGINEERING AND ARCHITECTURE

***MODERN CONSTRUCTION
AND ARCHITECTURE***

COLLECTION OF SCIENTIFIC WORKS

**Issue № 9
September 2024**

ODESSA 2024

**MODERN CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE
COLLECTION OF SCIENTIFIC WORKS
ISSN 2786-6696 (print) ISSN 2786-670X (online)**

Issue № 9, September 2024

Collection of scientific works has been published under name “Modern construction and architecture” since 2022, frequency – 4 times a year.

The previous title of the collection – Bulletin of Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, since 2000.

Founder and publisher – Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture (OSACEA), Odessa.
Certificate of state registration KB №25221-15161ПП, 10 June, 2022.

Collection of scientific works enters the list of scientific editions of Ukraine, in which thesis results can be published. Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine № 1643, 28 December, 2019 (category B).

Since 2016 collection of scientific works is indexed into International scientometric base of the Index Copernicus.

Results of scientific and experimental-theoretical researches in the field of construction and architecture; building structures, building materials and techniques; hydrotechnical and transport construction; utility networks and facilities; basement and foundations; technology and organization of building production are presented in the collection.

It is assigned for scientific workers, specialists of design organizations and manufacturing enterprises of construction domain, postgraduates, masters of educational institutions.

Editor-in-chief – Vyrovoy V.N. – D.Sc., Professor, OSACEA;

Executive editor – Kroviakov S.O. – D.Sc., Associate Professor, OSACEA;

Executive Secretary – Antoniuk N.R. – Ph.D., Associate Professor, OSACEA.

Editorial Board:

Azizov T.N. – D.Sc., Professor, Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical;

Goryk O.V. – D.Sc., Professor, Poltava State Agrarian Academy;

Klymenko Y.V. – D.Sc., Professor, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture;

Kryvenko P.V. – D.Sc., Professor, Scientific Research Institute for Binders and Materials named after V.D.Glukhovsky

Krutii Yu.S. – D.Sc., Professor, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture;

Lyashenko T.V. – D.Sc., Professor, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture;

Plugina A.A. – D.Sc., Professor, Ukrainian State University of Railway Transport;

Sanytsky M.A. – D.Sc., Professor, Lviv Polytechnic National University;

Surianinov M.G. – D.Sc., Professor, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture;

Shynkevych O.S. – D.Sc., Professor, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture;

Czarnecki Lech – Professor, Instytut Techniki Budowlanej, ITB, Warsaw;

Iskhakov Iakov – Ph.D., Professor, Ariel University, Ariel, Israel;

Fischer Hans-Bertram – Dr.-Ing., Bauhaus-Universität, Weimar, Germany;

Kozina Goran – Professor, University North, Croatia;

Milkovic Marin – Ph.D., University North, Croatia;

Ramanathan Hareesh N – Dr., Professor, Toc H Institute of Science and Technology, Arakkunnam, Kochi, Kerala, India;

Ribakov Y.I. – Ph.D., Professor, Ariel University, Ariel, Israel;

Slapac Mariana – Dr. Habilitat of Art, Cultural Heritage Institut, Chisinau, Moldova.

Technical editorship:

Zaytceva J.Y. – Ph.D., Associate Professor, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture;

Recommended for publication by the Academic Board of the OSACEA

Protocol № 2, 25 September, 2024.

Certificate KB №25221-15161ПП, 10 June, 2022.

Order of Ministry of Education and Science of Ukraine № 1643, 28 December, 2019 (category B).

**ISSN 2786-6696 (print)
ISSN 2786-670X (online)**

© Odessa State Academy
of Civil Engineering and Architecture
(OSACEA), 2024

ЗМІСТ

АРХІТЕКТУРА

Деркач С.І. Будівельна медіація: світовий досвід альтернативного вирішення спорів при модернізації багатоквартирних житлових будинків.....	7
Косьмій М.М., Жумбей С.Б. Теоретичний аналіз поняття регуляторна політика у плануванні та забудові міста: основні підходи та сучасні тенденції.....	20
Рибчинський А.О. Проектні стратегії урбаністичної інтерпретації дворових просторів історичних міст: дизайнерські та соціальні аспекти.....	33
Франків Р.Б. Європейські принципи універсального дизайну та їх застосування в архітектурі українських міст.....	41

БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ

Горбовий О.Л., Стрельцов К.О., Барабаш І.В. Вплив механоактивації на властивості цементно-водних композицій з добавкою меленого вапняку.....	48
Керш В.Я., Левицький Д.В., Тихонюк С.А., Фощ А.В. Адгезійна здатність гіпсовмісних штукатурних складів.....	55
Ляшенко Т.В., Антонюк Н.Р., Хлицов М.В., Бічев І.К. Обчислювальні експерименти при вивченні властивостей матеріалів під впливом факторів «суміші».....	62
Разсамакін А.В., Гоц В.І., Руденко І.І., Гелевера О.Г. Роль CaCO_3 у формуванні міцнісних і декоративних властивостей порошкового лужно-активованого шлакопортландцементного бетону.....	71

ІНЖЕНЕРНІ МЕРЕЖІ ТА ОБЛАДНАННЯ

Алейнікова А.І., Гулевський П.Ю., Вороненко І.В. Аналіз сучасних наукових та практичних досліджень в галузі розподільчої системи водовідведення.....	82
Левщанов С.В. Методи і практики впровадження та застосування різних типів штучного інтелекту і науки про дані для рішення проблем у водній інфраструктурі.....	97

ОСНОВИ ТА ФУНДАМЕНТИ

Войтенко І.В. Навантаження на заглиблені стіни захисних споруд.....	105
Вимоги до оформлення статей у збірнику Сучасне будівництво та архітектура.....	114

CONTENTS

ARCHITECTURE

Derkach S. Construction mediation: global experience for alternative dispute resolution in the modernisation of multi-apartment residential buildings.....	7
Kosmii M.M., Zhumbei S.B. Theoretical analysis of the concept of regulatory policy in city planning and development: main approaches and current trends.....	20
Rybchynskiy A.O. Design strategies for the urban interpretation of courtyard spaces in historic cities: design and social aspects.....	33
Frankiv R. European principles of universal design and their application in the architecture of ukrainian cities.....	41

BUILDING MATERIALS AND TECHNIQUES

Gorbovoy O.L., Streltsov K.A., Barabash I.V. Influence of mechanical activation on the properties of cement-water compositions with the addition of ground limestone.....	48
Kersh V.Ya., Levytskyi D.V., Tihoniuk S.A., Foshch A.V. Adhesive ability of gypsum-containing plaster compositions.....	55
Lyashenko T.V., Antoniuk N.R., Khlytsov N.V., Bichev I.K. Computational experiments when studying materials properties influenced by "mixture" factors	62
Razsamakin A.V., Gots V.I., Rudenko I.I., Gelevera O.G. The role of CaCO_3 in the formation of strength and decorative properties of powder alkaline-activated slag cement concrete.....	71

UTILITY NETWORKS AND FACILITIES

Aleynikova A., Hulievskiy P., Voronenko I. Analysis of modern scientific and practical research in the field of water distribution system.....	82
Levshchanov S.V. Methods and practices for implementing and applying different types of artificial intelligence and data science to solve problems in water infrastructure.....	97

BASEMENT AND FOUNDATIONS

Voitenko I.V. Loads on submerged walls of protective structures.....	105
Requirements for the articles formation in collection Modern construction and architecture	114

**CONSTRUCTION MEDIATION: GLOBAL EXPERIENCE FOR ALTERNATIVE
DISPUTE RESOLUTION IN THE MODERNISATION
OF MULTI-APARTMENT RESIDENTIAL BUILDINGS**

Derkach S., postgraduate student,
derkach.sergii@gmail.com, ORCID: 0009-0006-4380-4924
National Academy of Fine Arts and Architecture
20, Voznesens'kyi uzviz, Kyiv, 04053, Ukraine

Abstract. Modernisation of multi-apartment buildings is one of the steps towards achieving the goals of sustainable urban development. Modernisation of buildings and construction in general causes many disputes between the condominium, co-owners and other stakeholders, especially approval and financial issues. Such disputes are usually interpersonal rather than legal or legislative. In this regard, litigation is impractical or not at all within the competence of the courts. Modernisation, as an architectural, engineering, constructing and the process of urban development in general, is not an obligation and is a manifestation of desire of communities and a goal of the country, therefore the dispute resolution on this issue requires a special and innovative approach. Mediation is almost the only one way to resolve disputes between condominiums and co-owners on issues of modernisation and further operation and maintenance. If for many countries in the world construction mediation, although a relatively new concept, is already widely used in practice, then in Ukraine this method of dispute resolution is little known and not widespread. This method has proven its effectiveness in practice, because it is quick and simple in contrast to the litigation, which can suspend or delay construction for a very long time. Mediation helps parties reach agreement on any issue. Modernisation is an important and necessary step, at the same time controversial and difficult, due to the need for co-financing of the project by the co-owners of the house. Disputes between the parties are not only obstacles for project implementation and development but also endangers the achievement of achieving the goals of urban sustainable development. The larger project the more controversial issues arise that need to be resolved: not only financial, coordination and legislation but also compliance of norms and rules of non-government organisations or foundations that finance the program. Implementation of global mediation experience in modernisation and urban planning will help to more effectively and easily develop construction processes and dispute resolution between stakeholders of the project. The research and implementation of this issue is an important step on the way to improving the processes of modernisation of multi-apartment building, construction and urban planning.

Keywords: construction, mediation, modernisation, alternative dispute resolution, multi-apartment buildings, sustainable urban development.

Introduction. According to the set goals of sustainable urban development, the issue of modernisation of residential buildings is an important topic [1]. Given that modernisation is part of construction, in this context, condominiums and co-owners of multi-apartment buildings are among the stakeholders. Between the condominium, as the initiator and organiser of the modernisation, and the co-owners, there is a controversial issue of co-financing the project of modernisation of the building. Considering that the majority of the low-income population lives in the houses most in need of modernisation, the granting of consent on the modernisation project is controversial, because the financing requires costs that some co-owners cannot afford. Non-compliance of this issue makes it impossible to implement the project, which jeopardises the achievement of some of the goals of sustainable urban development. Given that participation in the modernisation of the house is only a desire and a manifestation of will, and not an obligation, dispute resolution is more interpersonal than legal. Therefore, it is hardly possible to resolve the dispute in court. Mediation,

as an alternative dispute resolution (ADR), is almost the only way for this issue.

Given that modernisation is part of the construction process, it is possible that other controversial issues may arise, which should be resolved by mediation. Construction mediation is widely used in countries around the world, especially in conditions of rapid development of architectural solutions, the construction industry and modernisation. Alternative dispute resolution may have other names besides mediation, such as: negotiation, adjudication, conciliation, dispute resolution council. But this is just the use of other terms and does not affect the essence of the process in this mediation context. The issue of mediation in the construction sector is an integral part of resolving construction disputes.

Conflict situations in construction are a big problem because decisions depend on realisation of the project. Construction, architecture and design are some of the most profitable areas of business. And at the same time one of the most risky. The construction of new facilities involves large financial investments and also takes a lot of time. In addition, the industry depends on economic stability in the country and immediately reacts to any changes. During the period of economic growth, we observe its rapid development, and during the recession – stagnation.

An economic crisis, environmental disasters, changes in legislation, other force-majeure circumstances can affect a significant increase in the cost of the project, for which the developer company and its partners may not be ready. This is the reason for poor-quality work, incomplete construction, and half-empty buildings standing idle for years. And as a result – conflicts that often arise in this area.

Disputes in the field of construction and design can also arise due to the imperfection of the contracts signed by the parties and the low level of compliance by the parties with the terms of the signed contracts.

Considering how important reputation is for companies both before investors and partners, and a decrease in trust can lead to serious financial losses, participants in a conflict in the field of construction and design are interested in its resolution taking place as confidentially as possible.

Ukrainian legislation in the field of construction and design is imperfect, therefore the possibilities of effective resolution of conflict situations in court are limited. The litigation takes a long time, during which construction is suspended. Especially when it comes to the modernisation of apartment buildings, which is an integral part of achieving the goals of sustainable development. To resolve controversial issues, which are usually related to the disagreement of co-owners of apartment buildings to undertake co-financing of the project, there is a need to resolve the dispute between association of co-owners of apartment building and co-owners. Solving the issue in court with the involvement of lawyers is impractical, because the modernisation of a multi-storey building is not the responsibility of the co-owners, but is only their manifestation, necessity and relevance in terms of the latest development of the country and the globalisation of the whole world, which requires being oriented not only to the present, but also for the future. And these are just some of the dispute issues that arise in construction. After all, construction is one of the most difficult branches in legal regulation. That is why mediation as alternative dispute resolution (ADR) may be the only possible way to resolve disputes in construction and design and to get out of crisis situations in modernisation of multi-apartment buildings.

Mediation is a modern out-of-court way of resolving disputes and conflicts with the participation of a neutral mediator who helps the parties reach an agreement to make mutually beneficial decisions. The use of mediation in construction is an effective way of settling disputes and conflicts and is relevant and timely, both at the early stages of the emergence of conflicts – pre-trial settlement, and at the stages of consideration of disputes in court. Mediation can not only reduce the number of legal disputes, but also reduce the financial and time costs of dispute resolution.

Mediation is widely used in many countries of the world and is even welcomed, and sometimes it is a legal priority to reduce the burden on the country's legal system. If in many countries of the world this method of dispute resolution has been used for a long time and is not something new, then in Ukraine it is not widely known and is very rarely used. Only in 2021, thanks to the adoption of the Law of Ukraine About mediation, such a method of dispute resolution was legally established as an alternative to the court process [2].

Mediation is a process in civil law relationship also. A significant part of disputes in the field of construction can be attributed to the most complex in terms of proving and predicting their results. Especially when it comes to the modernisation of apartment buildings and the relationship between condominiums and co-owners. After all, disputes can arise on any issue, especially when it comes to financial issues when modernising a building. As a rule, it is difficult to refer such a dispute to a judicial one, because the dispute does not arise due to legal inconsistency and violation of current norms and legislation, but due to the disagreement of the majority of co-owners to co-finance the program of modernisation of the house. Therefore, it is impossible to find a solution to such a dispute in court. And the only way to resolve the dispute is to find a compromise and give consent or to engage a specialist who will act as a mediator in the dispute resolution, without accepting any side, will help to reach an agreement. Mediator is a third party whose task is to help find resolution between the disputing parties.

Analysis of Recent Research and Publications. Construction mediation is actively researched and considered in scientific publications. The researchers have recently reviewed the topics such as voluntary participation in construction dispute mediation. The authors N. Cao and S.O. Cheung found that voluntariness is an important feature of successful mediation and an alternative to litigations is also an integral part of a construction contract. Mediation has been encouraged as a primary alternative dispute resolution mechanism to deal with construction disputes in Hong Kong [3-5]. J. Sidoli del Seno asserts that mediation has wide values in a construction and which can lead to significant cultural changes in the industry and related processes and also have a positive impact in this area development [6].

The topic of construction mediation in countries is considered separately. The interest of the parties to dispute resolution with the participation of a mediator is revealed [7]. There is considered the point of view of mediators on processes in construction mediation in Scotland [8]. The topic of mediation in construction disputes in England identified barriers to the greater use of mediation in the English construction industry [9]. Alternative dispute resolution methods in the Kingdom of Saudi Arabia are rarely used because the public work contract prevents the use of methods other than litigation [10]. Mediation of Construction Disputes in the United States, how Alternative Dispute Resolution, including dispute review boards, partnering, arbitration and mediation, have become the primary ways of settling construction disputes [11]. The result of construction disputes in the New Zealand Context suggests that more than 97% of construction disputes are directly related to human factors such as perception, behaviour and performance [12]. Mediation systems in the construction industry in European Countries are composed by authors in research [13]. Mediation is considered by authors in scientific publications in different countries and in different contexts, including separately considered construction mediation on the examples of different countries. Ukrainian authors mainly consider mediation in the general sense without distinguishing it from construction mediation. Mediation compares with litigation and determines the advantages of ADR in the European Union example [14].

Unfortunately, construction mediation in Ukraine is not widely raised and considered. Therefore, the research of construction mediation, as part of the construction process in dispute resolution, is an extremely relevant topic, especially in modernisation projects.

Objective and Tasks. The objective of research is to analyse the use of construction mediation in the world. Identifying the level of interest in ADR from states, construction organisations and stakeholders. Determination of the level of using mediation as an alternative dispute resolution in the construction industry. The task is to identify and determine the advantages of resolving disputes through mediation in the modernisation of multi-story buildings.

Materials and methods. Mediation at the legislative level has been established in many countries of the world for a long time. An overview of mediation prospects is considered by V. Derkach in the article "Development and perspective of mediation as alternative dispute resolution" [15]. Centres have been established to provide mediation services in many countries. Some countries allocate the mediation process at the court level. The concept of construction mediation as a separate type appeared not so long ago, but it is already widely used.

Singapore Mediation Centre was established to provide mediation services, including for businesses in the field of construction and infrastructure in Singapore [16]. However, the Singapore

Construction Mediation Centre was established only in 2019 to promote mediation as a preferred process for resolving construction disputes [17]. The American Arbitration Association has developed rules for industry arbitration and mediation procedures, including procedures for large, complex construction disputes [18]. Construction Industry Authority of the Philippines provides clarification on alternative dispute resolution in construction [19]. The Hong Kong Institute of Construction Managers (HKICM), as a professional organisation for construction management, has begun to promote, develop and encourage the use of mediation as an effective dispute resolution mechanism of construction disputes by establishing its own mediation scheme and providing mediation services to its members and the general public since 2010 [20]. HKIAC Mediation Services was also established in Hong Kong, which also resolves construction disputes [21]. The Construction Industry Council in the UK has published a standard mediation procedure (CIC MMAP) to help parties to reach a compromise in construction and engineering with mediation [22, 23].

Mediation in Ukraine has been adopted at the legislative level only since 2021 by the Law of Ukraine about mediation [2]. Therefore, the issue of construction mediation to dispute resolution in construction and modernisation projects in Ukraine is a relevant and actual topic. Modernisation is a relevant issue for many countries, especially the post-Soviet countries. Modernisation in Ukraine of residential buildings is extremely important, considering that more than 90% of residential buildings were built in Soviet times without complying with today's energy efficiency standards and have operational wear and tear of many building elements. Dispute resolution in construction and modernisation in many cases is only possible through ADR, as mediation. The results of the research on the renovation of social housing of old buildings that do not have modern needs from the point of view of socio-political, economic goals and sustainable development are highlighted in the report "The Regeneration of Large-Scale Social Housing Estates. Spatial, Territorial, Institutional and Planning Dimensions" [24]. The research was financed by the European Union, so it can be noted that research into the modernisation of residential buildings is carried out not only by scientists in a private manner, but also by organisations commissioned by the government.

According to the latest statistical data of Ukraine, a part of all residential buildings was built in the period from the beginning of the 1950s to the end of the 1980s [25]. Some of them are old and emergency [26]. Detailed information is in Figure 1 and Figure 2.

Post-Soviet countries have heritage "panel houses" apartment buildings including countries of the European Union. Low-income people live mostly in old houses. These houses are most in need of modernisation, the problem of solving the co-financing agreement for modernisation emerges acutely. Between the condominium, as the initiator of the modernisation project, and the co-owners, disputes constantly arise regarding the agreement on co-financing. Disagreement makes the process of modernisation and construction impossible, which leads to the impossibility of achieving the goals of sustainable cities and communities. Therefore, dispute resolution is a very relevant topic.

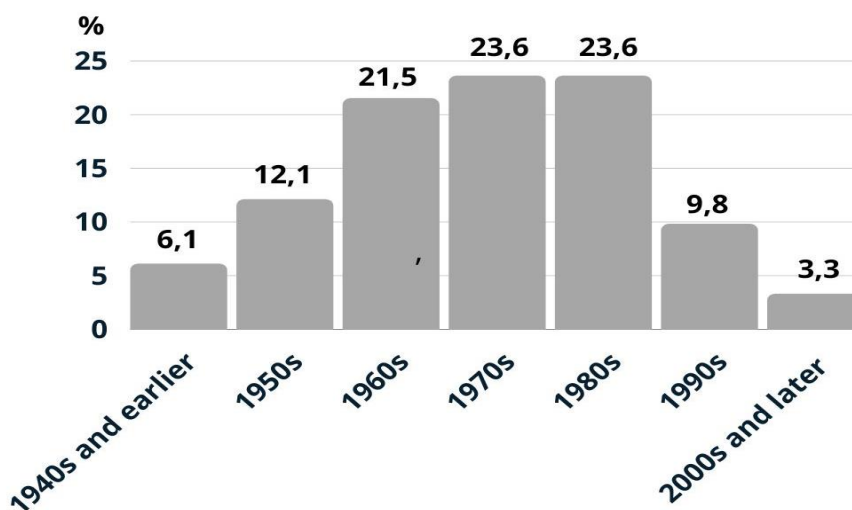


Fig. 1. Percentage of residential buildings by years of construction

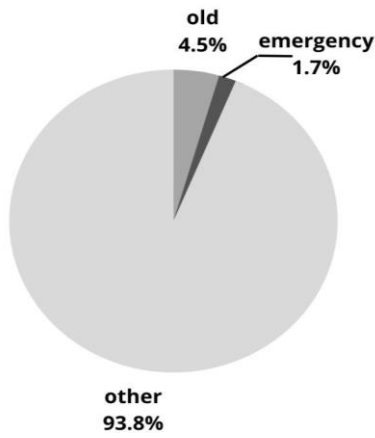


Fig. 2. Percentage of old and emergency buildings

The research is built with a descriptive method based on the analysis method. The research used a quantitative and qualitative analysis of the world experience of construction mediation to identify the effectiveness and prevalence of using this method as an alternative dispute resolution. The survey method revealed the level of interest of co-owners of multi-apartment buildings and their possibilities of co-financing in the modernisation of multi-apartment buildings, as well as controversial issues arising between interested parties. Thanks to this, the main controversial issues between condominiums and co-owners and other stakeholders in the project for the modernisation of multi-story buildings were identified and analysed. Comparative analysis revealed the advantages of mediation in comparison with litigation. The method of generalisation analyses the possibility of implementing the global experience of construction mediation to use alternative disputes resolution between

condominiums and co-owners and other interested parties in the modernisation of multi-apartment buildings. The research includes a qualitative analysis of the legislative framework for the use of mediation in Ukraine and other countries. Quantitative and qualitative analysis of the recommendations of international organisations related to construction and encouraging and developing construction mediation gave an answer to the community's interest in using this method. This made it possible to find practical experience for using the method in Ukraine. Using the method of statistical analysis, the need for modernisation of multi-apartment buildings in Ukraine and the problems that arise due to unresolved disputes have been revealed. Data analysis was accomplished using both descriptive and statistical methods.

The main material. *Advantages of construction mediation.* Disputes from legal and personal relations arising in construction projects are an inevitable phenomenon. This is due to the fact that the relations of the parties are formed within the limits of a huge number of technical requirements and legislation – state building regulations and legislative acts regulating legal relations in construction, with which one of the parties is most often not familiar. In addition, everyone has different views on the definition of the result of such activities. Therefore, more and more often, to resolve such conflicts, the parties involve the services of mediators, who help a quick and efficient reach of dispute resolution. Comparative characteristic of litigation and mediation is in Figure 3.

Litigation	VS	Mediation
initiative one of the party		initiative by consent of the parties
appointment of a judge		choice of the mediator
decision is made in according to legislation		decision is made in according to interests of parties
the court makes a decision		the mediator only facilitates the resolution of the dispute
long and formalized procedure		accelerated and non-formalized procedure
contest between parties		cooperation of parties
process is publicity		process is privacy

Fig. 3. Litigation vs mediation

All construction disputes conventionally can be divided into several categories, which are shown in Figure 4.

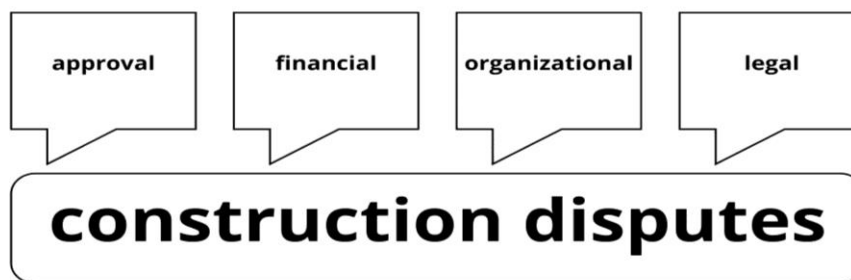


Fig. 4. Construction disputes

Most of the disputes belong to the approval and financial categories, since, although the activity is technical, it is often impossible to accurately determine the scope of the necessary work, the amount of materials, the terms and even the final result. All these categories are "framework", while the parties often try to establish them quite precisely by agreement of the parties, which leads to conflicts.

This is especially evident in the case of implementation of a project to modernise multi-apartment buildings. Disputes between the condominium and co-owners are a very common phenomenon. Mediation is the preferred procedure before litigation. The advantages are shown in Figure 5.

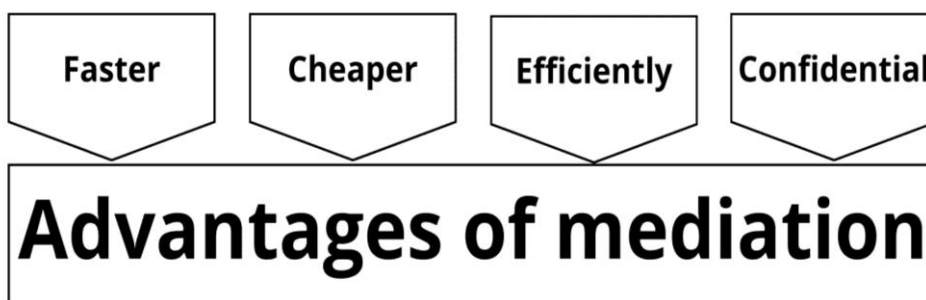


Fig. 5. Advantages of mediation

Faster. The litigation is held with the procedure of preparation for the court session, in which the date of the hearing is set, the parties are notified, during the first court hearing the parties are rarely completely ready for it, so the trial is postponed. All these and other aspects slow down the process of resolving the conflict, moreover, disputes of this kind rarely end in the first instance, as a result, litigation is so long. There are also disputes that are not within the jurisdiction of the courts, such as obtaining consent for co-financing of the modernisation project by the condominium from the co-owners. In some cases, the mediator can help solve the problem literally in one day during one meeting with the parties.

Cheaper. Regular increase in the services of lawyers and advocates, state duty and other hidden costs – all this makes court proceedings extremely expensive. In the case of mediation – it is enough to pay for the services of a specialist.

Efficiently. The main problem of construction disputes is an interpersonal conflict, which at the time of the court session turns into an economic dispute. Judicial bodies are not designed to resolve interpersonal conflicts, which significantly complicates the resolution of an economic issue. A mediator, on the contrary, initially acts as a negotiator in the resolution of all related issues, so that the parties can conduct dialogue regarding the main dispute as effectively and openly as possible.

Confidential. Without involvement of witnesses, experts and other third parties. The dispute resolution is resolved during personal meetings of the parties who are interested in finding a solution to the problem.

In Western countries, a new mediation technique is gaining momentum: the mediator is used by the parties at the entire stage of construction work. That is at the slightest hint of a conflict, it is immediately eliminated with the help of a mediator. Thus, the probability of conflict situations is reduced to very low values, which in the long run allows significantly reducing financial and time costs and improving the quality of services.

Global experience of construction mediation. Mediation was started in the 20th century in the United States of America (USA), United Kingdom (UK), Australia and then in Europe, Asia, Africa and others. Mediation is applied and regulated by legal norms depending on the country's legislation. Mediation in Ukraine as an alternative dispute resolution is a relatively new phenomenon and is almost never used by the courts as the main process before and during the trial. Although, according to the Mediation Law of Ukraine, mediation can be applied as an alternative in the process of resolving a dispute in court with the participation of the mediator – a specially trained neutral, independent and impartial individual who conducts mediation [2].

In contrast to Ukraine:

– The United States adopted the Uniform Mediation Act – the lawyer's duty is to inform the client about the possibilities and advantages of mediation, and also to confirm in court that they considered the option of mediation. At the same time, the judicial system is not obligated to consider the dispute through mediation, but can only recommend it [27].

– The European Union (EU) adopted Directive 2008/52/EC of the European Parliament and the Council of May 21, 2008 on certain aspects of mediation in civil and commercial matters. This Directive should apply to cases where the court directs the parties to mediation or where national law provides mediation. Furthermore, as a judge may act as a mediator under national law, this Directive should also apply to mediation conducted by a judge who is not responsible for any judicial proceedings relating to the case or cases in dispute. However this Directive should not apply to attempts by a court or a judge hearing a case to resolve a dispute in the context of a judicial proceeding in relation to the dispute in question, or to cases where a court or judge hearing a case seeks assistance or advice from a competent person [28]. On the basis of this Directive and on the initiative of each a member of the European Union, their own regulatory documents were later adopted. Depending on the legislation of the participating country, the mediation process is regulated and the persons who can be mediators are determined. Also, depending on the legislation of each country, mediation with the participation of the court may differ. If in some countries the mediation process may be mandatory before litigation, in other countries this process is not obligated by the authorities.

– In Ireland, the courts have the power to order the parties to apply for mediation or another form of alternative dispute resolution and to interrupt (stop) the proceedings in this connection. Court encourages parties to use an alternative dispute resolution procedure if the court deems it appropriate and facilitates the use of such a procedure. If the party refuses such a proposal, a penalty may be applied on the party that refused [29].

– In Australia, one of the services of the Federal Court of Australia is the mediation service. All cases are mediation, regardless of their complexity and number of parties such as commercial and corporate law, intellectual property, industrial law, consumer law, human rights, admiralty and tax law [30].

– In New Zealand the Building Disputes Tribunal, Authorised Nominating Authority under section 65 of the Construction Contracts Act 2002, which provides alternative dispute resolution [31].

– Under Singapore law, if a dispute is resolved through mediation, each party to the dispute is protected from litigation for a similar dispute [32].

Statistics data in USA and UK [33, 34], and International Chamber of Commerce [35] also confirmed popularity mediation.

Organisations such as the International Chamber of Commerce, the International Federation of Consulting Engineers (FIDIC) have adopted mediation rules according to commercial companies' needs. FIDIC developed its own provisions on methods for resolving disputes and recommends supporting the development of Alternative Dispute Resolution (ADR) and prescribing ADR methods such as mediation or others in the contract in the event of a conflict situation [36, 37]. Construction and engineering disputes can have high financial costs and damage business relationships and be very debilitating. Mediation plays an important role in resolving construction and engineering disputes. Construction Industry Council (CIC) has published the CIC Model Mediation Agreement and Procedure (CIC MMAP) to help parties reach a compromise in a construction and engineering dispute through mediation [22, 23].

State institutions, organisations and associations in different countries of the world not only implement mediation in resolving commercial disputes, but also directly in construction. The Construction Industry Authority of the Philippines (CIAP) is a government agency attached to the Department of Trade and Industry (DTI) for policy and program coordination, licensing and registration and, among other things, takes part in ADR like mediation in the construction industry [19]. The construction industry has grown rapidly in recent years and continues to grow, especially in Singapore and Hong Kong.

The issue of mediation in the construction sector is an integral part of resolving construction disputes. Institutions deal with mediation in the construction industry, such as Hong Kong Institute of Construction Managers ('HKICM'), being a professional institution in construction management, has started to promote, develop and encourage the use of mediation as an effective dispute resolution mechanism in settling construction disputes by setting up its own Mediation Scheme and providing mediation services to its members and the general public since 2010 [20]. The construction industry is interested in quick and efficient resolution of issues and protection of their interests and avoiding obstacles that cause stand idle construction. To this end, the Singapore Construction Mediation Centre was set up in 2019 with the aim to encourage mediation as a preferred process for resolving construction disputes and facilitating and reducing time and financial costs in order to avoid an unwanted stoppage in the development of the construction industry [17]. For the sake of structuring and transparency and systematisation in the resolution of construction disputes of any complexity without litigation and simplifying the understanding of the ADR procedure in the construction field, the American Arbitration Association has developed regulations for industry arbitration and mediation procedures [38].

International Chamber of Commerce is an international organisation that unites chambers of commerce, commercial organisations and companies for the development of international trade standards, the joint protection of interests in international organisations and the resolution of commercial disputes, publishes the Mediation Rules [39].

Given that in the modernisation of multi-apartment buildings, financing usually occurs at the expense of non-profit organisations and partner funds, the entire process must comply with the project management methodology of non-governmental organisations – transparency and compliance between all stakeholders.

Project management requires the following:

1. Project management should be carried out in a balanced way, with an equal degree of responsibility in relation to each stakeholder.
2. Project management methods should apply consistently to all actions in each phase of a "life" project.
3. All aspects of project management must be coordinated and harmonised to ensure the effectiveness of all elements (components) of the project at the stages of its development, planning, monitoring and implementation.
4. Project management should be collegial – the management process involves the participation of all stakeholders in the identification, development, planning, implementation and monitoring of the project. This ensures its transparency and compliance, improves quality, strengthens human resources and provides guarantees for project implementation at all levels.

5. Review and reassessment management processes are needed throughout the life of the project in order to ensure that the development process, project implementation plans and intended results have not lost their significance and relevance to the current situation. This practice improves the accuracy of estimates and plan next steps.

Given this methodology, condominiums and co-owners are faced with a complex procedure when modernising a house and the occurrence of disputes is an integral part of the process. Mediation is an extremely effective way to dispute and resolve such controversial issues. But, unfortunately, this method is rarely used in Ukraine, which causes obstacles to improve living conditions.

Conclusions. Mediation is widely used in practice in countries on all continents. In most countries of the world, mediation is quite common and is often used as an alternative to litigation. In Ukraine, mediation still needs development and could become a very effective and efficient tool for dispute resolution in construction, and especially in disputes between condominiums and co-owners, because, as a rule, these disputes are not the competence of the courts.

The construction industry is interested in the quick dispute resolution and protection of its interests, such as the development of construction reconstruction and modernisation contracts with an indication of ADR through mediation in cases of disputes, because misunderstandings, conflicts and downtime in construction not only create obstacles to the implementation of the project, but also stand on the way to achieving the goals of sustainable urban development.

In countries where the construction industry is developing at a rapid pace, mediation is widely used to construction disputes resolution, norms and rules are established, and advice is provided at the level of state institutions, institutes and associations. Special centres, in addition to other legal organisations and companies, provide mediation services in construction, separating disputes on other issues and sectors. Every year, mediation in construction gains momentum and proves its effectiveness. Therefore, it is not surprising that professional associations and federations develop and implement standard contracts that include mediation in case of dispute resolution. The introduction of a mediator service at all stages of construction to avoid disputes confirms the effectiveness of mediation in construction. In Ukraine, mediation as a phenomenon is not widely used, and even more so, it is not separated as construction mediation. Given the complexity of construction processes and negotiations between condominiums and co-owners regarding the modernisation of multi-apartment buildings, many controversial issues arise, the resolution of which usually cannot be attributed to the competence of the courts in Ukraine. It is necessary to use the experience of foreign countries and the experience of foreign and international institutes, foundations and associations specialising in construction. Modern trends require the development of mediation in the construction sector not only in disputes resolution between condominiums and co-owners, but also in construction. International experience can help in drawing up construction contracts including the mediation process in case of disputes resolution.

It is necessary to pay attention to the peculiarities and specifics of the conflicts in construction that arise in this industry and consider in dispute resolution. Changes in legislation, construction regulations, new programs that did not exist before, such as, for example, the modernisation of multi-apartment buildings, the appearance of new project participants, disputes become more complicated every year and, as a rule, become multilateral character, which requires a long time and large financial costs for litigation. Litigation is not appropriate at all in some cases. Therefore, mediation support for each large construction project and object is objectively requested. If mediation is used from the early stages of construction relations between all stakeholders that can prevent conflicts developing into multi-year litigation.

Construction disputes resolution in court each of the disputing parties spends the main time either proving the guilt of the other party or justifying themselves. The relations of the parties sometimes take on a shade of confrontation, rivalry and enmity instead of a partnership in such a hard competition of the litigation. The construction industry should be aimed at creating and maintaining good business relations and this is what mediation is aimed at.

For the litigation of all construction disputes, as a rule, and sometimes this is a requirement of the law, are necessary to conduct one or more judicial expertise (construction and technical, examination of design and estimate documentation, environmental, energy efficiency examination, accounting, examination of the market value of materials) and many others. These are significant additional time and financial costs. Mediation is a real helper in this case because the need for examinations may disappear. Mediation is the practice in many countries of the world.

Without negotiations (that is without mediation), it is almost impossible to resolve individual construction disputes in courts, where condominiums or co-owners are one of the disputing parties.

Disputes by mediation, in particular construction disputes, in some countries, such as Australia, Finland, are considered directly by the courts. Mediation is one of the most common means of dispute resolution in the Hong Kong construction industry for example.

Construction with all its subspecies related to the economy and human activity, unites a large number of people involved in construction and related to it as stakeholders. Issues of financing, calculations, timeliness and quality of completion lead to conflicts often. Therefore, this area is the most conflictual and has the potential for alternative dispute resolution by mediation.

The process of mediation is not new and already has its successful history in most countries of the world. Countries are interested in alternative dispute resolution, such as mediation, in connection with which legislative acts were developed. This has led to the establishment of relevant organisations, federations, associations, institutions and centres in most countries, which set rules, regulations and procedures and encourage mediation and provide advice, including in the field of construction.

Mediation in Ukraine has not yet developed and is not widely considered for the dispute resolution in construction. Therefore, legislative authorities (institutes), organisations, agencies, associations in the construction industry, based on foreign experience, have to develop and provide recommendations regarding alternative dispute resolution in Ukraine. The creation of a mediation centre, including construction mediation centre, would significantly increase the demand for the use of this method in resolving disputes, as well as contribute to a more effective and faster dispute resolution between stakeholders in construction, especially in resolving complex issues regarding the coordination of co-financing of the modernisation of multi-apartment building between condominium and co-owners.

References

- [1] General Assemble. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development (No.70/1). UNFPA. [Online]. Available: https://www.unfpa.org/sites/default/files/resource-pdf/Resolution_A_RES_70_1_EN.pdf Accessed on: May 01, 2024.
- [2] Pro mediatsiiu. Zakon Ukrainy № 1875-IX 16.11.2021. [Online]. Available: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1875-20?lang=en#Text>. Accessed on: May 01, 2024.
- [3] N. Cao, S.O. Cheung, "The value of voluntary participation in construction dispute mediation", *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. Ahead-of-print, no. ahead-of-print, 2023. <https://doi.org/10.1108/ECAM-11-2022-1070>.
- [4] N. Cao, S.O. Cheung, "The asymmetry of disputants in construction mediation", *Proceedings of International Structural Engineering and Construction*, vol. 9, no. 2, 2022. [http://doi.org/10.14455/ISEC.2022.9\(2\).LDR-01](http://doi.org/10.14455/ISEC.2022.9(2).LDR-01).
- [5] N. Cao, S.O. Cheung, "The voluntariness of disputants in construction mediation", *Proceedings of International Structural Engineering and Construction*, vol. 9, no. 1, 2022. [http://doi.org/10.14455/ISEC.2022.9\(1\).LDR-02](http://doi.org/10.14455/ISEC.2022.9(1).LDR-02).
- [6] J. Sidoli del Ceno, "Construction mediation as a developmental process", *International Review of Law*, vol. 2013, no.1, 2013. <https://doi.org/10.5339/irl.2013.1>.
- [7] Raymond H M Leung, Brian T F Hui, "Success in construction mediation in Hong Kong, China", *Management, Procurement and Law*, vol. 173, no. 3, pp. 114-119, 2020.

- <https://doi.org/10.1680/jmapl.19.00046>.
- [8] I. Trushell, B. Clarc and A. Agapiou, "Construction mediation in Scotland: An investigation into attitudes and experiences of mediation practitioners", *International Journal of Law in the Built Environment*, vol. 8, no. 2, pp.101-122, 2016. <https://doi.org/10.1108/IJLBE-09-2015-0014>.
- [9] J. Gregory-Stevens, I. Frame and C. Henjewe, "Mediation in construction disputes in England", *International Journal of Law in the Built Environment*, vol. 8, no. 2, pp.123-136, 2016. <https://doi.org/10.1108/IJLBE-02-2015-0004>.
- [10] S. Alshahrani, "Dispute resolution methods in the construction industry sector in the Kingdom of Saudi Arabia", *MATEC Web of Conferences*, 138, 02015, 2017. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201713802015>. Accessed on: May 10, 2024.
- [11] J. Barkai, "Mediation of Construction Disputes in the United States". [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1435380>. Accessed on: May 10, 2024.
- [12] T.W.Yiu, Z. Lu, K.P. Ang, "A Study of Construction Disputes in the New Zealand Context". In: Wang, C.M. Dao, V. Kitipornchai, S. (eds) EASEC16. *Lecture Notes in Civil Engineering*, Springer, Singapore, vol. 101, pp. 2075-2082, 2021. [Online]. Available: https://doi.org/10.1007/978-981-15-8079-6_190. Accessed on: May 10, 2024.
- [13] V. Trinkūnas, U. Quapp, N. Banaitienė, K. Holschemacher, E. Trinkūnienė & A. Banaitis, "Comparison of Mediation Systems in the Construction Industry of Two European Countries", *Journal of Legal Affairs and Dispute Resolution in Engineering and Construction*, vol. 13, no. 4, 2021. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)LA.1943-4170.0000493](https://doi.org/10.1061/(ASCE)LA.1943-4170.0000493).
- [14] A. Shtefan, Y. Prytyka, "Mediation in the EU: common characteristics and advantaged over litigation", *InterEULawEast : journal for the international and european law, economics and market integrations*, vol. 8, no. 2, pp. 175-190, 2021. <https://doi.org/10.22598/iele.2021.8.2.9>.
- [15] V. Derkach, "Development and perspective of mediation as alternative dispute resolution", *Scientific notes of the International Humanitarian University*, vol. 38, pp. 14-19, 2023. <https://doi.org/10.32782/2663-5682/2023/38/02>.
- [16] Construction & Infrastructure. Singapore Mediation Centre. [Online]. Available: <https://mediation.com.sg/service/construction-infrastructure/> Accessed on: May 15, 2024.
- [17] Singapore Construction Mediation Centr. [Online]. Available: <https://www.scal.com.sg/scmc>. Accessed on: May 15, 2024.
- [18] American Arbitration Association. [Online]. Available: <https://www.adr.org/construction>. Accessed on: May 16, 2024.
- [19] Construction industry authority of the Philippines. [Online]. Available: http://construction.gov.ph/program_and_services/construction-arbitration-mediation/ Accessed on: May 16, 2024.
- [20] Hong Kong Institute of Construction Managers. [Online]. Available: <https://hkicm.org.hk/membership/professional-services/mediation-services/> Accessed on: May 16, 2024.
- [21] HKIAC Mediation Services. [Online]. Available: <https://www.hkiac.org/mediation> Accessed on: May 16, 2024.
- [22] Construction Industry Council. [Online]. Available: <https://www.cic.org.uk/services/mediatio>. Accessed on: May 16, 2024.
- [23] Construction Industry Council. CIC MODEL MEDIATION AGREEMENT AND PROCEDURE. [Online]. Available: <https://www.cic.org.uk/uploads/files/old/cic-model-mediation-agreement-and-procedure-first-edition-11th-june-2019.pdf>. Accessed on: May 16, 2024.
- [24] N. Aernouts, E. Maranghi & M. Ryckewaert, The regeneration of large-scale Social Housing estates. Spatial, territorial, institutional and planning dimensions, Brussels: Soholab, 2020. [Online]. Available: https://jpi-urbaneurope.eu/wpcontent/uploads/2017/06/soholab_report1.pdf. Accessed on: May 16, 2023.

- [25] Statistics Ukraine. Statistical publication. [Online]. Available: https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2021/zb/07/zb_cdhd_21.pdf Accessed on: May 17, 2023.
- [26] State Statistics Service of Ukraine. Statistical yearbook of Ukraine 2022. [Online]. Available: https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2022/zb/11/Yearbook_2021.pdf. Accessed on: May 17, 2023.
- [27] Washington State Legislature. UNIFORM MEDIATION ACT. [Online]. Available: <https://app.leg.wa.gov/rcw/default.aspx?cite=7.07>. Accessed on: May 18, 2023.
- [28] An official website of the European Union. Directive 2008/52/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on certain aspects of mediation in civil and commercial matters. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2008/52/oj>. Accessed on: May 18, 2023.
- [29] Mediation Act 2017. [Online]. Available: <https://www.irishstatutebook.ie/eli/2017/act/27/section/16/enacted/en/html#sec16> Accessed on: May 18, 2023.
- [30] FEDERAL COURT OF AUSTRALIA. [Online]. Available: <https://www.fedcourt.gov.au/services/ADR/mediation>. Accessed on: May 18, 2023.
- [31] Building Disputes Tribunal. [Online]. Available: <https://buildingdisputestribunal.co.nz/mediation/mediation-protocol/>. Accessed on: May 18, 2023.
- [32] A Singapore Government Agency Website. MEDIATION ACT 2017. [Online]. Available: <https://sso.agc.gov.sg/Act/MA2017>. Accessed on: May 18, 2023.
- [33] GOV.UK Justice Data. [Online]. Available: <https://data.justice.gov.uk/legalaid/legal-aid-mediation>. Accessed on: May 18, 2023.
- [34] United States Court of Appeals for the Federal Circuit. [Online]. Available: <https://cafc.uscourts.gov/home/case-information/mediation/mediation-statistics/> Accessed on: May 18, 2023.
- [35] International Chamber of Commerce. [Online]. Available: <https://iccwbo.org/news-publications/arbitration-adr-rules-and-tools/icc-dispute-resolution-statistics-2020/>. Accessed on: May 18, 2023.
- [36] International Federation of Consulting Engineers (FIDIC). [Online]. Available: <https://fidic.org/node/761>. Accessed on: May 18, 2023.
- [37] FIDIC. Alternative Dispute Resolution. [Online]. Available: <https://fidic.org/sites/all/themes/fidic/pdf/policy/ADR.pdf>. Accessed on: May 18, 2023.
- [38] American Arbitration Association. Construction Industry Arbitration Rules and Mediation Procedures. [Online]. Available: https://www.adr.org/sites/default/files/ConstructionRules_Web_0.pdf. Accessed on: May 18, 2023.
- [39] International Chamber of Commerce. 2021 Arbitration Rules and 2014 Mediation Rules. [Online]. Available: <https://iccwbo.org/news-publications/arbitration-adr-rules-and-tools/arbitration-rules-and-mediation-rules/#single-hero-document>. Accessed on: May 18, 2023.

**БУДІВЕЛЬНА МЕДІАЦІЯ: СВІТОВИЙ ДОСВІД
АЛЬТЕРНАТИВНОГО ВИРІШЕННЯ СПОРІВ
ПРИ МОДЕРНІЗАЦІЇ БАГАТОКВАРТИРНИХ ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ**

Деркач С.І., аспірант,
derkach.sergii@gmail.com, ORCID: 0009-0006-4380-4924
Національна академія образотворчого мистецтва і архітектури
вул. Вознесенський узвіз, 20, Київ, 04053, Україна

Анотація. Модернізація багатоквартирних будинків є одним із кроків до досягнення цілей сталого розвитку міст. Модернізація будинків та будівництво загалом викликає багато суперечок між ОСББ, співвласниками та іншими зацікавленими сторонами, особливо щодо погодження та фінансових питань. Такі суперечки зазвичай є міжособистісними, а не правовими чи законодавчими. У зв'язку з цим розгляд справ є недоцільним або взагалі не входить до компетенції судів. Модернізація, як архітектурний, інженерний, будівельний та процес містобудування загалом, не є зобов'язанням, а є проявом бажання громад і метою країни, тому вирішення спору з цього питання потребує особливого та інноваційного підходу. Медіація – чи не єдиний спосіб вирішення спорів між ОСББ та співвласниками з питань модернізації та подальшої експлуатації та обслуговування. Якщо для багатьох країн світу будівельна медіація хоч і є відносно новим поняттям, але вже широко використовується на практиці, то в Україні цей спосіб вирішення спорів є маловідомим і малопоширеним. Цей спосіб довів свою ефективність на практиці, адже він швидкий і простий на відміну від судового розгляду, який може призупинити або затягнути будівництво на дуже тривалий час. Медіація допомагає сторонам досягти згоди з будь-якого питання. Модернізація – важливий і необхідний крок, водночас суперечливий і складний, через необхідність співфінансування проекту співвласниками будинку. Суперечки між сторонами є не лише перешкодою для впровадження та розвитку проекту, але й ставлять під загрозу досягнення цілей сталого розвитку міст. Чим більший проект, тим більше виникає суперечливих питань, які потребують вирішення: не лише фінансові, координаційні та законодавчі, а й дотримання норм і правил неурядових організацій чи фондів, які фінансують програму. Впровадження світового досвіду медіації в модернізації та містобудуванні допоможе більш ефективно та легко розвивати процеси будівництва та вирішення спорів між зацікавленими сторонами проекту. Дослідження та реалізація даного питання є важливим кроком на шляху вдосконалення процесів модернізації багатоквартирної забудови, будівництва та містобудування.

Ключові слова: будівництво, медіація, модернізація, альтернативне вирішення спорів, багатоквартирні будинки, сталий розвиток міст.

Стаття надійшла до редакції 24.07.2024

ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ПОНЯТТЯ РЕГУЛЯТОРНА ПОЛІТИКА У ПЛАНУВАННІ ТА ЗАБУДОВІ МІСТА: ОСНОВНІ ПІДХОДИ ТА СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ

¹Косьмій М.М., д.арх., професор,
kosmiy.lud@gmail.com, ORCID: 0000-0003-4823-5573

¹Жумбей С.Б., аспірант,
s.zhumbei@gmail.com, ORCID: 0009-0005-7507-2417

¹Заклад вищої освіти «Університет Короля Данила»
вул. Коновальця, 35, м. Івано-Франківськ, 76018, Україна

Анотація. Регуляторна політика у сфері планування та забудови міст є ключовим елементом державного управління, спрямованим на забезпечення економічної стабільності, соціального добробуту та стійкого розвитку. В умовах глобалізації та інтенсивного технологічного прогресу ефективне регулювання містобудівних процесів стає дедалі важливішим для вирішення сучасних викликів.

Метою даного дослідження є проведення теоретичного аналізу поняття регуляторної політики у плануванні та забудові міст, вивчення основних підходів до її реалізації, а також визначення сучасних тенденцій та можливостей адаптації міжнародного досвіду для України. Зокрема, дослідження спрямоване на виявлення ефективних моделей регуляторної політики, які можуть бути інтегровані в національне законодавство та практику для покращення управління міським розвитком.

У дослідженні використано комплексний підхід, що включає аналіз наукових публікацій, порівняльний аналіз регуляторних політик різних країн, методи критичного огляду літератури та синтезу даних. Особливу увагу приділено досвіду таких країн, як США, Німеччина та Сінгапур, де застосовуються різноманітні підходи до регулювання містобудівних процесів.

Аналіз показав, що регуляторна політика у плануванні та забудові міст є багатогранним явищем, яке включає такі основні підходи, як зонування, стратегічне просторове планування, енергоефективність, інтеграція транспортної інфраструктури та активне залучення громадськості до процесу прийняття рішень. Виявлено сучасні тенденції у регуляторній політиці, серед яких інноваційні підходи до планування, використання цифрових технологій, акцент на стійкому розвитку та екологічній безпеці. Порівняльний аналіз регуляторних політик США, Німеччини та Сінгапуру дозволив визначити ефективні моделі, які можуть бути адаптовані для умов України.

Дослідження підтвердило, що ефективна регуляторна політика є важливою передумовою сталого економічного розвитку, соціальної стабільності та захисту прав громадян. Подальші дослідження мають зосередитися на інтеграції цифрових технологій у регуляторні процеси, вдосконаленні механізмів контролю та моніторингу, що сприятиме стійкому розвитку міст в Україні.

Ключові слова: регуляторна політика, планування міста, забудова, державне управління, економічний розвиток, порівняльний аналіз, міжнародний досвід, цифрові технології, соціальна стабільність, нормативно-правові акти, ефективність регулювання.

Вступ. Регуляторна політика є ключовим інструментом державного управління у плануванні та забудові міста, спрямованим на забезпечення економічної стабільності, захист прав громадян і підтримку справедливих умов конкуренції. Однак, сучасна теорія та практика регуляторної політики стикаються з численними викликами, які потребують ґрунтовного наукового аналізу. Серед них варто зазначити глобалізацію економічних процесів, швидкий розвиток технологій, зміну політичних та соціальних умов, а також зростаючий вплив міжнародних організацій.

Відсутність чіткого та загально визнаного визначення поняття «регуляторна політика міста» створює невизначеність у її застосуванні та оцінці ефективності. Це вимагає детального аналізу основних підходів до визначення регуляторної політики у плануванні та забудові міста та виявлення сучасних тенденцій у цій сфері. Незважаючи на значну кількість існуючих досліджень, питання визначення та класифікації регуляторної політики залишаються відкритими і потребують подальшого вивчення.

Отже, дослідження поняття регуляторної політики міста, її основних підходів та сучасних тенденцій є необхідним як для теоретичного розуміння цього явища, так і для практичного вдосконалення регуляторних механізмів. Це сприятиме кращому розумінню ролі держави у регулюванні економічних і соціальних процесів, а також забезпечить основу для розробки політик, що відповідають сучасним викликам.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Теоретичний аналіз поняття «регуляторна політика» у плануванні та забудові міста привертає значну увагу дослідників у різних країнах, що обумовлено зростаючою потребою в ефективному управлінні міськими територіями в умовах швидкої урбанізації та змін у суспільних, економічних, і екологічних умовах.

Основні підходи до регуляторної політики у плануванні міста ґрунтуються на визначенні нормативних і правових рамок, які регулюють процеси забудови та розвитку міської інфраструктури. Дослідники, такі як Колупаєва І.В. [1], Вацковський К. і Гавкалова Н. [2], у своїх роботах зазначають, що ефективна регуляторна політика дозволяє збалансувати інтереси різних стейкхолдерів, зокрема держави, забудовників, і місцевих громад, шляхом забезпечення прозорості та передбачуваності регуляторних процедур.

Інший важливий аспект регуляторної політики у міському плануванні стосується забезпечення стійкого розвитку міських територій. Зокрема, дослідження Возної Ю. [3] підкреслюють роль регуляторної політики у збереженні природних ресурсів, зменшенні впливу забудови на навколишнє середовище, а також у забезпеченні доступності житла для різних соціальних груп населення. Ці дослідники відзначають, що регуляторна політика має враховувати довгострокові екологічні та соціальні наслідки міського планування, що є особливо важливим у контексті глобальних змін клімату.

Сучасні тенденції в регуляторній політиці зосереджуються на впровадженні інноваційних підходів до планування та управління міськими територіями. Це включає цифровізацію регуляторних процесів, залучення громадськості до ухвалення рішень, а також інтеграцію концепцій «розумного міста» у міське планування. Роботи Адамовської В. С. [4], Габрель М.М. демонструють, що використання інформаційних технологій у регуляторній політиці дозволяє підвищити ефективність управління міськими територіями, спростити взаємодію між урядом і громадянами, а також забезпечити більш прозорий і підзвітний процес прийняття рішень.

На основі проведеного аналізу можна зробити висновок, що поняття «регуляторна політика» у плануванні та забудові міста є складним і багатогранним, що охоплює широкий спектр аспектів – від нормативних рамок і процедур до інноваційних підходів і децентралізації управління. Сучасні дослідження підкреслюють необхідність подальшого розвитку цього напрямку з метою забезпечення стійкого розвитку міст, їхньої екологічної та соціальної стійкості, а також забезпечення ефективного і прозорого управління міськими територіями.

Незважаючи на значний обсяг досліджень, проведених у сфері регуляторної політики у плануванні та забудові міст, існує кілька ключових проблем, які залишаються невирішеними:

- багато досліджень зосереджуються на окремих аспектах регуляторної політики, таких як економіка або екологія, але відсутня комплексна оцінка міжгалузевих взаємодій і впливів у міському середовищі;

- питання адаптації регуляторних рамок до швидких технологічних змін і глобалізаційних процесів потребує більш детального вивчення, особливо у контексті смарт міст та цифрових технологій.

Необхідні додаткові дослідження, які б аналізували вплив регуляторних заходів на соціальну сферу, включаючи питання нерівності, доступу до послуг та соціального захисту.

У даній статті буде зроблено акцент на теоретичному аналізі основних підходів до

визначення регуляторної політики у плануванні та забудові міст, а також на виявленні сучасних тенденцій, що дозволить закрити деякі з існуючих прогалів у дослідженні цієї теми.

Мета та завдання. Метою статті є всебічний теоретичний аналіз поняття регуляторної політики у плануванні та забудові міста, визначення основних підходів до її трактування та дослідження сучасних тенденцій у цій сфері. Відповідно до цього, основні цілі дослідження мають наступний вигляд:

- вивчити та систематизувати різні наукові підходи до розуміння регуляторної політики у плануванні та забудові міста, які представлені в сучасній літературі;

- проаналізувати новітні тренди та зміни у регуляторній політиці, обумовлені глобальними процесами, такими як цифрова трансформація, зміни в економічному середовищі та екологічні виклики;

- визначити, як регуляторна політика міст впливає на економічні, соціальні та екологічні аспекти, зокрема, на інноваційну активність, рівень конкурентоспроможності, доступ до ресурсів та послуг, а також на забезпечення екологічної безпеки;

- надати рекомендації щодо напрямків подальших наукових досліджень у сфері регуляторної політики у плануванні та забудові міста, а також практичних заходів, які можуть бути впроваджені для покращення регуляторних механізмів.

Матеріали та методика дослідження. У цьому дослідженні використовувалися різні методи для забезпечення всебічного та об'єктивного аналізу поняття регуляторної політики, її основних підходів та сучасних тенденцій, зокрема:

- метод систематичного огляду літератури передбачав систематичний пошук, відбір та аналіз наукових праць, що стосуються регуляторної політики міст. Завдяки цьому підходу були виявлені ключові концептуальні рамки та теоретичні підходи до визначення та аналізу регуляторної політики у плануванні та забудові міста;

- метод аналізу документів застосовувався для вивчення офіційних нормативно-правових актів, урядових постанов та інших документів, які регулюють діяльність у сфері регуляторної політики міст;

- метод порівняльного аналізу використовувався для порівняння регуляторних політик міст у різних країнах або регіонах. Порівняння здійснювалося за критеріями, такими як підходи до регулювання, інституційні механізми, цілі та ефективність політики.

Для виконання даного дослідження застосовувалися різноманітні матеріали, включаючи: наукові статті та монографії з теми регуляторної політики міст; офіційні документи, такі як закони, постанови та інші нормативні акти; статистичні дані, зібрані з відкритих джерел, таких як національні статистичні служби, міжнародні організації (наприклад, OECD, IMF); інтерв'ю та консультації з експертами у галузі регуляторної політики.

Описані методи та матеріали дозволяють не лише всебічно дослідити обрану тему, але й забезпечують можливість відтворення дослідження іншими спеціалістами, що підвищує надійність та валідність отриманих результатів.

Результати досліджень. Регуляторна політика в урбаністичному контексті охоплює широкий спектр заходів, спрямованих на планування, розвиток та регулювання використання міських територій. Її специфіка визначається унікальними умовами, які виникають у міських середовищах, такими як висока щільність населення, інтенсивне використання ресурсів та складні соціально-економічні взаємозв'язки

Основною метою регуляторної політики в містах є створення умов для сталого розвитку урбаністичних територій. Це включає забезпечення ефективного використання землі, захист навколишнього середовища, розвиток транспортної інфраструктури, а також забезпечення житлових та комерційних потреб населення (табл. 1). Завданням цієї політики є балансування інтересів різних груп – жителів, підприємців, держави та громадських організацій – з метою досягнення гармонійного розвитку міського простору.

Вищенаведені завдання вимагають координації дій між різними рівнями уряду та залучення широкого кола зацікавлених сторін, включаючи громадські організації, бізнес та наукове товариство.

Загалом, регуляторна політика в урбаністичному контексті має забезпечувати баланс між економічним розвитком, екологічною стійкістю та соціальною справедливістю, сприяючи таким чином створенню комфортного і безпечного міського середовища.

Таблиця 1 – Цілі та завдання регуляторної політики у плануванні та забудові міста

Цілі та завдання	Характеристика
Ефективне використання міських земель	Оптимізація використання територій для різних цілей, таких як житло, комерція, інфраструктура та зелені зони. Це включає зонування, визначення щільності забудови та встановлення будівельних норм.
Захист навколишнього середовища	Впровадження екологічних стандартів, контроль за викидами забруднюючих речовин, захист природних ресурсів і біорізноманіття в міських умовах.
Розвиток транспортної інфраструктури	Планування і розвиток ефективних транспортних систем, включаючи дороги, громадський транспорт, велосипедні доріжки та пішохідні зони. Це також включає управління дорожнім рухом та зниження заторів.
Забезпечення житлових та соціальних потреб	Сприяння будівництву доступного житла, розвиток соціальної інфраструктури, такої як школи, лікарні та культурні заклади. Це включає підтримку соціально орієнтованого будівництва та забезпечення доступності послуг.
Залучення громадськості до прийняття рішень	Створення механізмів для участі мешканців у процесі планування та розвитку міста, включаючи громадські слухання, консультації та залучення до формування міських програм.

Джерело: складено авторами на основі [3–7].

Управління розвитком міст здійснюється через різноманітні регуляторні інструменти. Інструменти регуляторної політики у плануванні та забудові міста є засобами, за допомогою яких держава, муніципалітети та інші органи управління забезпечують виконання цілей і завдань регулювання міських територій. Ці інструменти можна класифікувати на правові, економічні, адміністративні та соціальні (табл. 2).

Правові інструменти включають містобудівне законодавство, регламенти та нормативні акти, що встановлюють правила використання землі, будівництва та реконструкції будівель. Економічні інструменти передбачають використання фінансових стимулів та санкцій для підтримки або обмеження певних видів діяльності, таких як податкові пільги для забудовників або штрафи за порушення будівельних норм. Соціальні інструменти спрямовані на залучення громадськості до процесу прийняття рішень через громадські слухання, консультації та інші форми участі.

Ефективне містобудівне регулювання потребує тісної взаємодії та координації між державою, громадськістю та бізнесом. Це включає:

- публічно-приватне партнерство (ППП) – спільні проекти між державними органами та приватними компаніями, спрямовані на реалізацію інфраструктурних і соціальних проектів;
- консультативні ради та комітети – створення консультативних органів, до складу яких входять представники держави, громадськості та бізнесу, для розгляду важливих питань містобудівної політики;
- медіацію та розв'язання конфліктів – використання медіації для розв'язання конфліктів між різними зацікавленими сторонами, забезпечення справедливості та консенсусу у процесі прийняття рішень.

Таким чином, взаємодія держави, громадськості та бізнесу є критично важливою для успішного містобудівного регулювання. Вона сприяє врахуванню інтересів усіх сторін, забезпечує прозорість і підзвітність, а також сприяє досягненню сталого розвитку міських територій (табл. 3).

Таблиця 2 – Інструменти регуляторної політики міст

Назва	Характеристика
<i>Правові інструменти</i>	
Нормативно– правові акти	Закони, постанови, укази та регламенти, що встановлюють правила та стандарти забудови і використання землі.
Містобудівні плани	Генеральні плани, детальні плани територій, плани зонування, що визначають основні напрямки розвитку та функціональне зонування територій.
Будівельні норми та стандарти	Правила, що регулюють технічні аспекти будівництва, включаючи матеріали, конструкції, безпеку, енергоефективність.
<i>Економічні інструменти</i>	
Податкові стимули та пільги	Податкові знижки, звільнення від податків або зниження податкових ставок для реалізації соціально важливих або екологічних проєктів.
Фінансові субсидії та гранти	Фінансова підтримка для реалізації інфраструктурних або соціальних проєктів, таких як будівництво доступного житла.
Плата за використання ресурсів та послуг	Регулювання вартості оренди землі, комунальних послуг, стимулювання раціонального використання ресурсів.
<i>Адміністративні інструменти</i>	
Процедури ліцензування та дозволи	Надання ліцензій, дозволів та погоджень на будівництво, контроль за відповідністю проєктів нормам і стандартам.
Інспекційні заходи	Нагляд та контроль за дотриманням будівельних норм, регулярні перевірки та аудит.
Планування та координація	Управління реалізацією містобудівних проєктів, координація між державними органами, забудовниками та громадськістю.
<i>Соціальні інструменти</i>	
Громадські слухання та консультації	Залучення мешканців до обговорення проєктів, проведення опитувань та консультацій, врахування громадської дум.
Інформаційна підтримка та просвітництво	Забезпечення доступу до інформації про регуляторну політику, освітні кампанії з питань екологічної стійкості, збереження культурної спадщини тощо.

Джерело: складено авторами на основі [1–6].

Таблиця 3 – Взаємодія держави, громадськості та бізнесу у процесі містобудівного регулювання

Сторона	Роль	Функції та інструменти	Форми взаємодії
Держава	Головний регулятор	– Створення нормативної бази – Планування та стратегічне управління – Контроль та нагляд	– Публічно-приватне партнерство (ППП) – Консультативні ради – Дозвільні процедури
Громадськість	Учасник процесу, забезпечення прозорості та підзвітності	– Громадські слухання та консультації – Ініціативні групи та акції – Інформаційна підтримка	– Громадські обговорення – Активізм та громадські кампанії – Медіація
Бізнес	Інвестор та виконавець	– Інвестиції та розвиток – Співпраця з державними органами – Відповідальність та соціальна функція	– Публічно-приватне партнерство (ППП) – Консультації з державними органами – Корпоративна соціальна відповідальність (КСВ)

Джерело: складено авторами на основі [3–7].

Реалізація регуляторної політики у сфері планування та забудови міста може здійснюватися за різними підходами, залежно від державної стратегії, культурних особливостей, рівня економічного розвитку та пріоритетів суспільства. Основні підходи до реалізації регуляторної політики включають: директивний підхід, ліберальний підхід, комбінований підхід та публічно-приватне партнерство (табл. 4).

Таблиця 4 – Основні підходи до реалізації регуляторної політики у плануванні та забудові міста

Підхід	Основні характеристики	Переваги	Недоліки
Директивний	<ul style="list-style-type: none"> – Жорстке державне регулювання – Централізоване планування – Санкції та обмеження 	<ul style="list-style-type: none"> – Високий рівень контролю – Забезпечення безпеки – Запобігання хаотичному розвитку 	<ul style="list-style-type: none"> – Бюрократизм – Обмеження інновацій – Відсутність гнучкості
Ліберальний	<ul style="list-style-type: none"> – Мінімальне державне втручання – Саморегуляція ринку – Децентралізація – Стимулювання конкуренції 	<ul style="list-style-type: none"> – Залучення інвестицій – Швидка реалізація проектів – Підтримка інновацій 	<ul style="list-style-type: none"> – Можливість нерегульованого розвитку – Ризики для інфраструктури – Можливі соціальні та екологічні проблеми
Комбінований	<ul style="list-style-type: none"> – Баланс між державним регулюванням та ринковими механізмами – Стратегічне регулювання – Підтримка інновацій – Соціальні гарантії 	<ul style="list-style-type: none"> – Ефективне управління ресурсами – Соціальна стабільність – Збереження екологічної стійкості 	<ul style="list-style-type: none"> – Можливість конфліктів між державними та приватними інтересами – Необхідність узгодження інтересів
Публічно-приватне партнерство (ППП)	<ul style="list-style-type: none"> – Спільна реалізація проектів державою та приватним сектором – Спільне фінансування – Розподіл ризиків – Контроль та управління 	<ul style="list-style-type: none"> – Залучення приватного капіталу – Підвищення ефективності управління проектами – Розподіл фінансових ризиків 	<ul style="list-style-type: none"> – Складність координації між державою та приватним сектором – Можливі розбіжності у цілях і пріоритетах

Джерело: складено авторами на основі [1–5].

Директивний підхід базується на жорсткому державному регулюванні всіх аспектів містобудівної діяльності. Держава встановлює детальні правила та норми, яких повинні дотримуватися всі учасники процесу, включаючи забудовників та інших приватних суб'єктів. Директивний підхід забезпечує високий рівень контролю за містобудівною діяльністю, що може сприяти запобіганню хаотичному розвитку міст і забезпеченню безпеки громадян. Однак він також може призводити до бюрократичних перешкод, обмежувати інновації та гнучкість у реалізації проектів.

Ліберальний підхід характеризується мінімальним державним втручанням у процеси планування та забудови міста. Він ґрунтується на принципах ринкової економіки та саморегуляції, де основну роль відіграють ринкові сили та приватні ініціативи. Ліберальний підхід сприяє залученню інвестицій, швидкій реалізації проектів та інноваціям. Проте він може призводити до нерегульованого розвитку міст, проблем з інфраструктурою, соціальною несправедливістю та недостатнім захистом навколишнього середовища.

Комбінований підхід, також відомий як змішаний або гібридний, поєднує елементи

директивного та ліберального підходів. Він спрямований на досягнення балансу між державним регулюванням та ринковими механізмами, враховуючи потреби суспільства та економіки. Комбінований підхід дозволяє ефективно реагувати на виклики сучасного урбаністичного розвитку, забезпечуючи одночасно економічне зростання, соціальну стабільність та екологічну стійкість.

Публічно-приватне партнерство є специфічною формою взаємодії між державою та приватним сектором, яка включає спільну реалізацію містобудівних проєктів. ППП дозволяє поєднувати державні ресурси та приватний капітал для вирішення складних завдань у сфері інфраструктури, житлового будівництва та інших галузях.

ППП є ефективним інструментом реалізації складних містобудівних проєктів, що дозволяє державі зосередитися на стратегічних питаннях, а бізнесу – на оперативному управлінні та реалізації проєктів.

Таким чином, вибір підходу до реалізації регуляторної політики у плануванні та забудові міста залежить від конкретних умов та цілей розвитку. Кожен з підходів має свої переваги та недоліки, і їхнє комбінування може забезпечити найбільш ефективне вирішення складних урбаністичних завдань.

У сучасних умовах розвиток регуляторної політики у сфері планування та забудови міст зазнає значних змін, зумовлених глобалізацією, зростанням урбанізації, екологічними викликами та цифровою трансформацією. Ці фактори стимулюють появу нових підходів та інструментів, які дозволяють адаптувати регуляторну політику до нових реалій та забезпечувати стійкий розвиток міських територій. Розглянемо основні сучасні тенденції в регуляторній політиці (табл. 5).

Таблиця 5 – Сучасні тенденції в регуляторній політиці міст

Тенденція	Основні характеристики	Приклади застосування	Вплив на розвиток міста
Стійкий розвиток	<ul style="list-style-type: none"> – Інтеграція принципів стійкості – Зелена архітектура та інфраструктура – Захист довкілля – Адаптація до змін клімату 	<ul style="list-style-type: none"> – Впровадження енергоефективних будівель – Розвиток зелених зон – Строгі екологічні стандарти 	<ul style="list-style-type: none"> – Підвищення якості життя – Зниження екологічного навантаження – Підвищення стійкості до кліматичних змін
Цифровізація	<ul style="list-style-type: none"> – Електронне урядування – Цифрове містобудівне моделювання – Інтернет речей (IoT) 	<ul style="list-style-type: none"> – Електронні платформи для подання документів – Віртуальні моделі міст – IoT для управління інфраструктурою 	<ul style="list-style-type: none"> – Спрощення дозвільних процедур – Оптимізація планування та управління – Підвищення ефективності використання міських ресурсів
Публічно-приватне партнерство	<ul style="list-style-type: none"> – Спільна реалізація проєктів державою та приватним сектором – Спільне фінансування – Соціальна відповідальність бізнесу 	<ul style="list-style-type: none"> – Спільні інфраструктурні проєкти – Забезпечення доступного житла – Розвиток громадської інфраструктури 	<ul style="list-style-type: none"> – Підвищення ефективності проєктів – Розподіл фінансових ризиків – Залучення приватного капіталу

Тенденція	Основні характеристики	Приклади застосування	Вплив на розвиток міста
Залучення громадськості	– Громадські консультації та участь – Прозорість та підзвітність – Відкриті дані та доступ до інформації	– Громадські обговорення планів забудови – Публікація відкритих даних – Звіти про діяльність органів влади	– Підвищення довіри до влади – Зменшення соціальної напруженості – Покращення якості прийняття рішень
Міждисциплінарний підхід	– Співпраця між різними відомствами – Врахування соціальних та культурних аспектів – Міжнародне співробітництво	– Координація дій між транспортними, екологічними та соціальними службами – Програми підтримки культурного різноманіття – Використання міжнародного досвіду у розробці політик	– Комплексний підхід до розвитку міста – Підвищення якості життя – Адаптація передових практик

Джерело: складено авторами на основі [4–9].

Розглянуті тенденції в регуляторній політиці міст спрямовані на забезпечення сталого, інклюзивного та інноваційного розвитку урбаністичних територій, адаптацію до глобальних викликів та підвищення якості життя міського населення.

Регуляторна політика у сфері планування та забудови міст значно варіюється у різних країнах світу. Порівняльний аналіз регуляторних політик допомагає виявити ефективні підходи, які можуть бути адаптовані для покращення міського управління в Україні. Розглянемо основні особливості регуляторних політик у таких країнах, як США, Німеччина та Сінгапур (табл. 6).

Таблиця 6 – Порівняльний аналіз регуляторних політик міст у різних країнах світу

Країна	Основні особливості регуляторної політики	Інструменти регулювання	Приклади ефективних практик
США	Децентралізація, різноманіття підходів, зонування, публічні слухання	Зонування, екологічні стандарти, публічні слухання	Детальне зонування, залучення громадськості до обговорення проєктів
Німеччина	Структуроване просторове планування, високі екологічні стандарти, енергетична ефективність	Просторове планування, енергетичні стандарти, громадські консультації	Жорсткі вимоги до енергоефективності будівель, активне залучення громадськості
Сінгапур	Централізоване планування, інтеграція транспорту та забудови, зелена інфраструктура	Центральне планування, інтеграція транспортної інфраструктури, зелена інфраструктура	Ефективне використання землі, вертикальне озеленення, інтеграція транспортних рішень з житловою забудовою

Джерело: складено авторами на основі [9–14].

Порівняльний аналіз регуляторних політик у різних країнах показує, що успішні підходи до містобудування залежать від багатьох факторів, включаючи національні особливості, доступні ресурси та інституційну структуру. США демонструють приклади децентралізованого управління із залученням громадськості, Німеччина фокусується на стійкому розвитку та енергоефективності, а Сінгапур відзначається інноваційними рішеннями у використанні обмежених ресурсів.

Регуляторна політика в сфері містобудування в Україні спирається на сукупність законодавчих та нормативних актів, які забезпечують комплексний підхід до планування та розвитку міст. Серед них Закон України «Про регулювання містобудівної діяльності» № 3038-VI від 17 лютого 2011 р. (є ключовим нормативним актом, який визначає порядок розробки та затвердження містобудівної документації), Закон України «Про основи містобудування» № 2780-XII від 16 листопада 1992 р. (є основою для правового та економічного регулювання містобудування), Закон України «Про стратегічну екологічну оцінку» № 2354-VIII від 20 березня 2018 року (вводить обов'язкову екологічну оцінку містобудівних документів, таких як генеральні плани, що дозволяє враховувати вплив на навколишнє середовище на ранніх етапах планування) [16-18]. Вони визначають правові рамки для забезпечення стійкого, екологічно чистого та соціально орієнтованого розвитку міст, а також дозволяють контролювати та регулювати процеси забудови з метою збереження балансу між економічними, соціальними та екологічними інтересами.

Незважаючи на існування законодавчої бази та стандартів, сучасна політика містобудування в Україні стикається з низкою викликів:

– низький рівень виконання та моніторингу дотримання норм. Часто будівельні проекти не повністю відповідають вимогам ДБН, що може призводити до проблем з екологією та комфортом міського середовища;

– слабка інтеграція інноваційних рішень. Хоча законодавча база закладає основу для сталого розвитку, інтеграція інноваційних технологій у будівництво (наприклад, «розумні» міста або екологічно чисті будівлі) відбувається повільно через відсутність стимулів та належного регулювання.

Україна може взяти на озброєння найкращі практики з кожної з цих країн, адаптуючи їх до власних реалій. Зокрема, Україні варто частково запозичити американський досвід децентралізації у сфері містобудування. Це дозволить регіонам і громадам більше впливати на процеси планування територій, виходячи з локальних потреб. Місцеві органи влади можуть краще враховувати демографічні, економічні та екологічні умови конкретних територій.

Важливим аспектом є адаптація німецької практики інклюзивного планування та громадських консультацій. Це підвищить прозорість процесів та сприятиме більшій довірі до регуляторних органів.

Запровадження елементів «розумних міст», як у США, повинно стати пріоритетом для українських міст. Автоматизація процесів управління, цифровізація будівельної документації та використання сучасних технологій дозволять знизити навантаження на інфраструктуру та забезпечити ефективне планування.

Для вирішення проблем з хаотичною забудовою та порушенням екологічних стандартів, Україна може використовувати елементи сінгапурської моделі. Централізоване управління стратегічними проектами дозволить гарантувати дотримання законодавства, водночас забезпечуючи швидке реагування на виклики.

При адаптації міжнародного досвіду Україна зіштовхнеться з низкою викликів, які потребують уваги та відповідного вирішення:

– інституційні та правові бар'єри – впровадження нових підходів може вимагати значних змін у законодавстві та організаційній структурі;

– фінансові ресурси – реалізація комплексних проектів часто потребує значних фінансових вкладень, що може бути викликом для місцевих бюджетів;

– культурні та соціальні аспекти – зміни у регуляторній політиці можуть зустріти опір з

боку громадськості та бізнесу, що вимагає ефективної комунікації та залучення усіх зацікавлених сторін.

Висновки. Регуляторна політика у сфері планування та забудови міст є надзвичайно важливим інструментом державного управління, що сприяє економічній стабільності, соціальному благополуччю та стійкому розвитку. Проведений теоретичний аналіз основних підходів та сучасних тенденцій у регуляторній політиці дозволяє зробити наступні висновки:

1. Регуляторна політика у сфері містобудування охоплює широкий спектр заходів та інструментів, спрямованих на регулювання використання землі, забудови та розвитку міської інфраструктури. Від мінімального втручання до активного державного регулювання – різні підходи застосовуються залежно від національних особливостей та пріоритетів.

2. Виявлено, що основні підходи включають зонування, стратегічне просторове планування, енергоефективність та стійкий розвиток, громадську участь та інтеграцію транспортної інфраструктури з міським розвитком. Кожен з цих підходів має свої переваги та виклики, що потребують врахування при впровадженні.

3. Серед сучасних тенденцій регуляторної політики виділяються інноваційні підходи до планування, використання цифрових технологій, акцент на стійкому розвитку та екологічній безпеці, а також активне залучення громадськості до процесу прийняття рішень.

4. Досвід США, Німеччини та Сінгапуру демонструє різноманітність підходів до регуляторної політики у містобудуванні. Вивчення цих практик дозволяє виявити ефективні моделі, які можуть бути частково адаптовані в Україні для підвищення ефективності управління міським розвитком.

5. Впровадження зонування, стратегічного просторового планування, енергоефективності та зеленої інфраструктури є перспективними напрямками для покращення містобудівної політики в Україні. Водночас необхідно враховувати національні особливості та забезпечити ефективну адаптацію міжнародних практик до українських реалій.

Сучасна модель регуляторної політики України у сфері планування та забудови міст відзначається низкою особливостей, що потребують детального аналізу й вивчення для її подальшого вдосконалення.

По-перше, важливим елементом сучасної моделі є процес децентралізації, який надає більші повноваження місцевим громадам у прийнятті рішень щодо планування та забудови. Це дозволяє більш ефективно враховувати місцеві потреби, проте водночас створює нові виклики у формі недостатньої координації між різними рівнями влади та незавершеності нормативно-правової бази.

По-друге, на сучасному етапі розвитку регуляторної політики важливу роль відіграють інноваційні підходи до містобудування, такі як розробка комплексних планів розвитку територій, цифровізація процесів містобудівної документації та інтеграція технологій «розумного міста». Ці нововведення сприяють покращенню управління міськими ресурсами, зокрема землею та інфраструктурою, однак водночас вимагають перегляду традиційних підходів до планування і підвищення кваліфікації відповідних фахівців.

По-третє, євроінтеграційні процеси в Україні вимагають адаптації національного законодавства до європейських стандартів сталого розвитку та екологічних вимог. Це означає, що регуляторна політика має бути орієнтована на забезпечення гармонії між урбанізацією та охороною довкілля, зокрема через впровадження нових екологічних норм і практик у містобудування.

Подальші дослідження в цьому напрямку можуть бути спрямовані на вивчення механізмів координації між державними і місцевими органами влади, удосконалення нормативної бази, а також дослідження ефективності використання цифрових технологій у процесі регуляторної політики.

Література

1. Колупаєва І.В. Державна регуляторна політика: сутність та принципи формування економіки. *Проблеми економіки*. 2013. № 4. С. 99–107. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/PeKon_2013_4_14 (дата звернення: 30.07.2024).
2. Wackowski K., Gavkalova N. The paradigm of the state regulatory policy. *Economics of development*. 2016. № 2(78). P. 40–44.
3. Возна Ю. Сучасні тенденції та актуальні проблеми реалізації державної регуляторної політики у сфері господарської діяльності в Україні. *Літопис Волині*. 2021. №25. С. 131–135. <https://doi.org/10.32782/2305-9389/2021.25.22>. (дата звернення: 11.07.2024).
4. Адамовська В.С. Механізм державного регулювання економіки та вибір напрямку економічної політики в сучасних умовах господарювання. *Державне управління: удосконалення та розвиток*. 2017. № 4. URL: <http://www.dy.nauka.com.ua/?op=1&z=1063>. (дата звернення: 11.07.2024).
5. Дурман М., Дурман О. Особливості формування та реалізації державної регуляторної політики у сфері оподаткування під час воєнного стану. *Публічне управління: концепції, парадигма, розвиток, удосконалення*. 2022. №2. С. 142–162. URL: <https://doi.org/10.31470/2786-6246-2022-2-142-162> (дата звернення: 11.07.2024).
6. Гончаренко О. Державне регулювання та саморегулювання господарської діяльності: пошук балансу. *Підприємство, господарство і право*. 2018. № 3. С. 40–45.
7. Малига В. Стратегія як основа реалізації державної регуляторної політики. *Вісник Львівського університету. Серія юридична*. 2015. Вип. 61. С. 30–36.
8. Основні підходи до аналізу та оцінювання державної політики: наук. розробка; за заг. ред. В. В. Тертички, Г. Л. Рябцева. К. : Псіхея, 2016. 48 с.
9. Baldwin R., Cave M., & Lodge M. *Understanding Regulation: Theory, Strategy, and Practice*. Oxford University Press. 2012. 532 p.
10. OECD. *Regulatory Policy Outlook 2020*. OECD Publishing. 2021. 301 p.
11. Вяткін К.І. Територіально-просторова організація містобудівних систем: фактори впливу. *Містобудування та територіальне планування: Наук.-техн. збірник*. Вип. 76. 2021. С. 37–44.
12. Завальний О.В., Колоша М.С. Аналіз міського простору – це перший етап для формування сучасного міста. *Містобудування та територіальне планування: Наук.-техн. збірник*. Вип. 76. 2021. С. 71–82.
13. Рибак А.І., Балдук Г.П. Модель оцінки якості міського середовища. *Вісник Криворізького національного університету*. 2019. Вип. 48. С. 23–31. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vktu_2019_48_7 (дата звернення: 31.07.2024).
14. Міхно О., Патракеєв І. Методика оцінювання якості міського середовища. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Військово-спеціальні науки*. 2018. Вип. 2. С. 29–39. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VKNU_vsn_2018_2_8 (дата звернення: 30.07.2024).
15. Габрель М.М. Морфологія міста та комфортність міського середовища. Показники і методи оцінки взаємодій. *Містобудування та територіальне планування*. 2018. Вип. 68. С.78-91. URL: <https://repository.knuba.edu.ua/server/api/core/bitstreams/1d412da6-f312-4398-80eb-425f500e4287/content> (дата звернення: 31.07.2024).
16. Про регулювання містобудівної діяльності: Закон України № 3038-VI від 17 лютого 2011 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3038-17#Text> (дата звернення: 30.07.2024).
17. Про основи містобудування: Закон України № 2780-XII від 16 листопада 1992 року. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2780-12#Text> (дата звернення: 31.07.2024).
18. Про стратегічну екологічну оцінку: Закон України № 2354-VIII від 20 березня 2018 року. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2354-VIII#Text> (дата звернення: 30.07.2024).

References

- [1] I.V. Kolupaieva, "Derzhavna rehuliatorna polityka: sutnist ta pryntsypy formuvannia ekonomiky", *Problemy ekonomiky*, no. 4, pp. 99–107, 2013. [Online]. Available: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pekon_2013_4_14. Accessed on: July 30, 2024.
- [2] K. Wackowski, N. Gavkalova, "The paradigm of the state regulatory policy", *Economics of development*, no. 2(78), pp. 40–44, 2016.
- [3] Yu. Vozna, "Suchasni tendentsii ta aktualni problemy realizatsii derzhavnoi rehuliatornoj polityky u sferi hospodarskoi diialnosti v Ukraini", *Litopys Volyni*, no. 25, pp. 131–135, 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.32782/2305-9389/2021.25.22>. Accessed on: July 11, 2024.
- [4] V.S. Adamovska, "Mekhanizm derzhavnoho rehuliuвання ekonomiky ta vybir napriamu ekonomichnoi polityky v suchasnykh umovakh hospodariuvannia", *D. erzhavne upravlinnia: udoskonalennia ta rozvytok*, no. 4, 2017. [Online]. Available: <http://www.dy.nayka.com.ua/?op=1&z=1063>. Accessed on: July 11, 2024.
- [5] M. Durman, O. Durman, "Osoblyvosti formuvannia ta realizatsii derzhavnoi rehuliatornoj polityky u sferi opodatkuвання pid chas voiennoho stanu", *Publichne upravlinnia: kontseptsii, paradyhma, rozvytok, udoskonalennia*, no. 2, pp. 142–162, 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.31470/2786-6246-2022-2-142-162>. Accessed on: July 11, 2024.
- [6] O. Honcharenko, "Derzhavne rehuliuвання ta samorehuliuвання hospodarskoi diialnosti: poshuk balansu", *Pidpryemstvo, hospodarstvo i pravo*, no. 3, pp. 40–45, 2018.
- [7] V. Malyha, "Stratehiia yak osnova realizatsii derzhavnoi rehuliatornoj polityky", *Visnyk Lvivskoho universytetu. Serii yurydychna*, no. 61, pp. 30–36, 2015.
- [8] Osnovni pidkhody do analizu ta otsiniuvannia derzhavnoi polityky: nauk. rozrobka; za zah. red. V. V. Tertychky, H. L. Riabtseva. K. : Psikhieia, 2016.
- [9] R. Baldwin, M. Cave, M. Lodge, *Understanding Regulation: Theory, Strategy, and Practice*. Oxford University Press, 2012.
- [10] OECD. Regulatory Policy Outlook 2020. OECD Publishing. 2021.
- [11] K.I. Viatkin, "Terytorialno-prostorova orhanizatsiia mistobudivnykh system: faktory vplyvu", *Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia: nauk.-tekhn. zbirnyk*, no. 76, pp. 37–44, 2021.
- [12] O.V. Zavalnyi, M.S. Kolosha, "Analiz miskoho prostoru – tse pershyi etap dlia formuvannia suchasnoho mista", *Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia: nauk.-tekhn. zbirnyk*, no. 76, pp. 71–82, 2021.
- [13] A.I. Rybak, H.P. Balduk, "Model otsinky yakosti miskoho seredovyscha", *Visnyk Kryvorizkoho natsionalnoho universytetu*, no. 48, pp. 23–31, 2019. [Online]. Available: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vktu_2019_48_7. Accessed on: July 31, 2024.
- [14] O. Mikhno, I. Patrakeiev, "Metodyka otsiniuvannia yakosti miskoho seredovyscha", *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Viiskovo-spetsialni nauky*, no. 2, pp. 29–39, 2018. [Online]. Available: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VKNU_vsn_2018_2_8. Accessed on: July 30, 2024.
- [15] M.M. Habrel, "Morfolohiia mista ta komfortnist miskoho seredovyscha. Pokaznyky i metody otsinky vzaiemodii", *Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia*, no. 68, pp. 78–91, 2018. [Online]. Available: <https://repository.knuba.edu.ua/server/api/core/bitstreams/1d412da6-f312-4398-80eb-425f500e4287/content>. Available: July 31, 2024.
- [16] "Pro rehuliuвання mistobudivnoi diialnosti": Zakon Ukrainy № 3038-VI vid 17 liutoho 2011. [Online]. Available: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3038-17#Text>. Available: July 30, 2024.

- [17] "Pro osnovy mistobuduvannia": Zakon Ukrainy № 2780-XII vid 16 lystopada 1992 roku. [Online]. Available: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2780-12#> Accessed on: July 31, 2024.
- [18] "Pro stratehichnu ekolohichnu otsinku": Zakon Ukrainy № 2354-VIII vid 20 bereznia 2018 roku. [Online]. Available: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2354-VIII#Text>. Accessed on: July 30, 2024.

THEORETICAL ANALYSIS OF THE CONCEPT OF REGULATORY POLICY IN CITY PLANNING AND DEVELOPMENT: MAIN APPROACHES AND CURRENT TRENDS

¹**Kosmii M.M.**, Doctor of Architecture, Professor,
kosmiy.lud@gmail.com, ORCID: 0000-0003-4823-5573

¹**Zhumbei S.B.**, postgraduate student,
s.zhumbei@gmail.com, ORCID: 0009-0005-7507-2417
¹*King Danylo University*
35, Konovaltsia str., Ivano-Frankivsk, 76018, Ukraine

Abstract. Regulatory policy in the field of urban planning and development is a key element of public administration aimed at ensuring economic stability, social welfare and sustainable development. In the conditions of globalization and intensive technological progress, effective regulation of urban planning processes is becoming more and more important for solving modern challenges.

The purpose of this study is to carry out a theoretical analysis of the concept of regulatory policy in urban planning and development, to study the main approaches to its implementation, as well as to determine modern trends and opportunities for adapting international experience for Ukraine. In particular, the research aims to identify effective models of regulatory policy that can be integrated into national legislation and practice to improve the management of urban development.

The research uses a comprehensive approach, which includes the analysis of scientific publications, comparative analysis of regulatory policies of different countries, methods of critical literature review and data synthesis. Special attention is paid to the experience of countries such as the USA, Germany and Singapore, where various approaches to the regulation of urban planning processes are used.

The analysis showed that regulatory policy in urban planning and development is a multifaceted phenomenon, which includes such basic approaches as zoning, strategic spatial planning, energy efficiency, integration of transport infrastructure and active involvement of the public in the decision-making process. Modern trends in regulatory policy have been identified, including innovative approaches to planning, the use of digital technologies, an emphasis on sustainable development and environmental safety. A comparative analysis of the regulatory policies of the USA, Germany, and Singapore made it possible to identify effective models that can be adapted to the conditions of Ukraine.

The study confirmed that an effective regulatory policy is an important prerequisite for sustainable economic development, social stability and protection of citizens' rights. Further research should focus on the integration of digital technologies into regulatory processes, improvement of control and monitoring mechanisms, which will contribute to the sustainable development of cities in Ukraine.

Key words: regulatory policy, city planning, construction, public administration, economic development, comparative analysis, international experience, digital technologies, social stability, regulatory and legal acts, regulatory effectiveness.

Стаття надійшла до редакції 12.08.2024

DESIGN STRATEGIES FOR THE URBAN INTERPRETATION OF COURTYARD SPACES IN HISTORIC CITIES: DESIGN AND SOCIAL ASPECTS

Rybchynskyi A.O., postgraduate student,
adrian.o.rybchynskyi@lpnu.ua, ORCID: 0009-0004-8793-5980
Lviv Polytechnic National University
12, S. Bandery Street, Lviv, 79000, Ukraine

Abstract. The shift in the urban paradigm during the 20th century led to a significant reconsideration of the living space of city residents. The principles of the modernist worldview, which acquired the nature of a universal urban design strategy in the Athens Charter of 1931, initiated a negative attitude towards the block development that had prevailed before. The courtyard spaces inherent in it started to be perceived as insufficient, and their original concept as places of recreation and social interaction was redefined. As a result, the internal environments of blocks were spontaneously used by residents for various purposes, leading to their degradation and chaos. This was particularly relevant to Ukrainian cities, where the population of historic centres was densifying, with an increased impact on all types of spaces.

The crisis of modernist urban design and the expansion of postmodern values have returned attention to historical heritage as an auxiliary source of shaping and removed the intensity of the confrontation between the ‘contemporary’ modernist worldview and the ‘historical’ one. Subsequently, urban concepts have absorbed many ideas related to the environmental discourse, inclusiveness, barrier-free accessibility, pedestrian accessibility, and density. All of this has significantly changed the understanding of approaches and principles of interpretation of historic urban spaces, including residential courtyards.

The article considers promising urban design strategies that can be used for the contemporary interpretation of courtyard environments, primarily focused on design and social aspects. This is due to the methodological structure, which is based on a dual understanding of the priorities of this process. On the one hand, courtyard spaces are perceived as places of recreation and greening, and on the other hand, as environments for socialising and community bonding.

In this regard, four urban design strategies have been identified that may form the basis of certain areas of urban design in the future: a) functional universalisation; b) spatial diversification; c) communicative adaptability; d) variable accessibility. The first strategy refers to the integration of courtyard spaces into measures to introduce walkability and optimal density. In this case, we are dealing with introducing a number of functions into courtyard spaces that were typical of external street areas, but aimed at the nearest residents. The second strategy is aimed at returning to the ideology of green oases and recreational areas, with further expansion of spatial elements through vertical development. The strategy of communicative adaptability is related to the development of courtyards as places of gathering and solidarity of the resident’s community. The last strategy is related to the proposal to provide access to the courtyards to external visitors at certain times.

Key words: urban design strategies, urban studies, courtyard spaces, public spaces, design, inclusiveness, adaptability, urban greening,

Introduction. Contemporary urban studies pay considerable attention to the issues of density [1] and sustainability [2] on the one hand, and the preservation of cultural heritage and the authenticity of the historical environment [3] on the other hand. These two priorities sometimes contradict each other, which requires the search for new, more comprehensive approaches to the interpretation of the modern urban environment. In this regard, courtyard spaces of residential buildings are an important object of theoretical reflection and practical experiments. This is due to the fact that in territorial and spatial terms they are not exploited territory reservoirs which allow providing a

number of qualities necessary for the modern city to the areas of historic buildings.

The main areas of involvement and transformation of these spaces are increasing the amount of greenery, promoting social cohesion, ensuring the concept of a city of short distances, and supporting cultural diversity. In addition, courtyard spaces interpreted by design means in a certain way become an element of additional valorisation and acquisition of symbolic capital by a city. Therefore, the theoretical task is to outline the concept of harmonisation and reconciliation of different approaches and requirements related to the involvement of the significant potential of the internal spaces of residential blocks of historic buildings, providing them with inclusive and adaptive qualities with maximum preservation of the authentic material substance and memorability of the place.

Analysis of sources and publications. The problem of interpreting courtyard spaces has been the subject of a number of studies that have examined both micro and macro aspects of this topic. For example, in the article by R. Gupta and M. Joshi ‘Courtyard: A Look at the Relevance of Courtyard Space in Contemporary Houses’ the potential of using courtyard areas in terms of their energy efficiency, in particular, heat conservation [4] is analysed. This area of thinking is specific to contemporary urban vision and opens up new possibilities for interpreting these fragments of urban fabric, although having a long history, in the context of which we can mention the article by M. Taleghani and M. Tenpierik ‘Environmental Impact of Courtyards’ [5]. Among the more voluminous works, we can mention books by D. Kaiser ‘Courtyards: Intimate Outdoor Spaces’ [6], D. Zhang ‘Courtyard Housing and Cultural Sustainability: Theory, Practice and Product’ [7], etc.

A significant number of studies are devoted to the design and architecture of courtyard spaces in particular cities and cultural and historical contexts. Examples of such works are articles by A. Erarslan ‘A Comparative Analysis on the Spatial Organisation of the Traditional Courtyard House with Iwan in Southeastern Anatolia’ [8], M. Masullo et al. ‘Historical Cloisters and Courtyards as Quiet Areas’ [9], T. Adebara ‘Private Open Space as a Reflection of Culture: the Example of Traditional Courtyard Houses in Nigeria’ [10], etc.

Based on the analysis of the sources, we can dwell upon two fundamental approaches to covering the topic under consideration. The first of them is related to the historical retrospective of the phenomenon of courtyard spaces, when the object of study is the regularities of composition, structure, and functional use. The second deals with the changing nature of courtyards and the possibility of their adaptation to the requirements of contemporary urban studies.

The **purpose** of the article is to outline the design and social aspects of urban design strategies for the urban interpretation of courtyard spaces in historic cities based on the analysis of sources and methods used.

Research objectives. In accordance with the purpose, a number of research objectives have been defined to determine the transformative and adaptive capabilities of courtyard spaces in areas of historic buildings. First and foremost, an important issue is to determine the basic values of the spatial organisation of urban areas; on the one hand, they must meet the criteria for the quality of living in a contemporary city, and on the other hand, perceive the material heritage as a valuable authentic material that needs to be preserved and maintained. In the future, this should lead to the emergence of a theoretically grounded strategy, or a number of strategies for the contemporary interpretation of courtyard spaces, as well as examples of their adaptation to specific urban spaces. Particular emphasis is placed on the design and social aspects, as the former make it possible to address many of the above interpretive challenges in a relatively flexible and affordable manner, while the latter link them to the concepts of solidarity and cohesion among urban residents with the aim of creating a more competitive and friendly living environment.

The materials and methodology of the research are a combination of the following two approaches: a) a study of the current state of courtyards and their use by residents enabling to establish the needs of the latter and their expectations regarding the spatial content of the living space closest to them; b) a study of the character of the urban environment that has developed in areas of historical buildings with authentic courtyard spaces.

The main material. Since the emergence of postmodernism, the issue of the urban approach to the organisation of historic centres has become more complex and problematic due to the coincidence

of many factors influencing their functional content. Historic centres have become magnets for tourism, business and government, as well as for living, which has significantly marked them out in comparison to other urban areas. While in the period of late modernism there was a tendency to settle in suburban private houses, later, due to high transport and time costs, the high-density concept grew in popularity [1]. All of this has led to the fact that historic centres and areas of pre-modern block development began to bear a heavy functional load, which has led to the emergence of a complex set of problems and requires the search for new approaches at both theoretical and practical levels. Additionally, it is worth highlighting that they should take into account not only the need to preserve valuable architectural heritage, but also find ways to ensure the quality of life in these areas that meets current urban values, such as those stated in the European Union strategies [11].

A study of the current state of forty courtyards in Lviv and their use by residents revealed a complex symbiosis of functions that spontaneously emerged as a result of the following factors: a) the location of retail and service establishments on the ground floors, which functionally try to expand into the courtyards (storage facilities, unloading ramps, etc.); b) the location of equipment serving the household needs of residents (drying clothes, stroller storage, etc.); c) improvised and amateur elements of improving the aesthetic level of the space by the residents themselves (installation of tables, benches, sculptures, flower beds, bicycle parking, etc.); d) improvised methods of ensuring private security (fences, grates, etc.). These most common functions are complemented by others related to the legacy of population densification during the Soviet period and the emergence of more apartments with smaller area. In addition, the study revealed a predominantly significant level of deterioration of the construction material, which requires revitalisation efforts [12].

The study of the nature of the urban environment in areas of historic buildings with authentic courtyard spaces in such districts of Lviv as Pryvokzalna, Novyi Svit, and Levytskoho Street showed differences depending on the location within the urban area. In particular, in districts further away from the centre, the main neighbours are commercial establishments, parking spaces, playgrounds and small areas of greenery. In the areas that can be attributed to the city centre, additional neighbourhood facilities related to hospitality and tourism infrastructure emerge.

These and other findings make it possible to dwell upon about the following patterns. The first of them is the attempts of residents to address the functional necessities lacking in the external, public space, such as parking for various types of transport, access to recreation and leisure areas (including children's), etc. The second is the factor of convergence of different purposes due to the functional heterogeneity of the use of historic buildings. The third is related to the attempt to expand one's own private space at the expense of the courtyard space through the extension of balconies, stairwells, complex wall configurations, etc.

In view of this, we can speak of two approaches to the development of design strategies for the urban interpretation of courtyard spaces in historic cities. One of them is to interpolate spontaneous initiatives into municipal programmes and plans for the development of urban areas, and the other is to apply the principles of contemporary urban studies to the courtyard spaces of historic areas, regardless of individual initiatives of residents. Obviously, these two 'maximalist' suggestions should be synthesised into a balanced strategy or vision that is both progressive and adaptive.

The analytical and evidence-based materials obtained make it possible to outline four possible strategies that could become the basis for more detailed programmes of interpretation of courtyard spaces in the future. They are based on the values of financial optimisation and social cohesion. The first value consists in finding opportunities that will make the process of contemporary interpretation of courtyard spaces as cheap as possible and, therefore, affordable even in middle-income urban communities. In a practical sense, it is related to design, which is supposed to significantly replace costly structural and construction transformations. The second consists in the formation of a strategy for a new urban community that is more united and cohesive [13], which is expected to achieve better indicators of attractiveness and quality of life. In this sense, courtyard spaces should be redefined as environments of collaboration, communication and socialising.

The first potential strategy is functional universalisation, which follows from the results of the methods used within this study. It involves understanding courtyard spaces as reservoirs of space that are needed to bring traditional historic blocks in line with the values of the contemporary city, primarily quick access to a wide range of goods and services. The main target audience here is the actual residents of the building or buildings in question, but with the possibility of attracting a wider range of visitors. First of all, the implementation of this strategy can solve the problem of accessibility to service elements, parking for small-sized urban transport (electric scooters, bicycles, scooters, etc.), leisure areas, etc. The design aspects that should be taken into account here are to solve the problem of lack of actual space, as well as to develop spatial elements with a reasonable level of self-sufficiency in operation, which will allow for the efficient and long-term operation of the proposed facilities. The social aspect, which is related to the design aspect, is the organisation of a space of inclusive presence and equal access, which will prevent some residents from perceiving the courtyard space as more ‘theirs’ and other residents perceiving it as less ‘theirs’.

The strategy of spatial diversification entails elevating the concept of joint presence and interaction within courtyard environments to a higher level by redefining these spaces as green oases and micro-landscape zones. This approach integrates ecological, social, and architectural dimensions, creating a multifaceted enhancement of the urban experience. From an ecological perspective, beyond the dendrological considerations-such as selecting and arranging plant species to optimize environmental benefits-the strategy emphasizes the design elements that facilitate vertical spatial expansion. This vertical development might include the introduction of green walls, rooftop gardens, and other forms of biophilic design, contributing to an enriched urban microclimate and enhancing biodiversity within the cityscape.

Moreover, the social dimension of spatial diversification transcends mere accessibility improvements. It fosters a cooperative ethos among residents, encouraging communal activities such as shared plant care, harvesting, and maintenance of these green spaces. This collective engagement not only strengthens social bonds but also embeds a sense of stewardship and responsibility towards the shared environment. Additionally, spatial diversification necessitates a thorough analysis of the existing courtyard environment to identify and address any functional deficits, ensuring that these spaces meet the diverse needs of the community.

Another critical strategy, which can be termed communicative adaptability, focuses on transforming courtyard environments into hubs of community cohesion, aligning with the principles of co-housing. This strategy advocates for a flexible framework of activities and interactions that are tailored to the specific needs and preferences of the residents. The overarching goal is to cultivate a culture of friendship and solidarity, which can be viewed as a form of social capital that enhances the overall attractiveness and livability of the urban area. By fostering a strong, supportive community, residents can collectively engage in initiatives aimed at improving housing and environmental conditions, effectively interact with municipal authorities, and advocate for their rights. This, in turn, can lead to a heightened sense of security, inclusiveness, and community identity. The design aspect of this strategy could involve creating communal spaces that memorialize the collective experiences and milestones of the community, thereby reinforcing the social fabric.

While intra-building communication is vital for fostering internal community cohesion, it is equally important to recognize the courtyard community as an integral part of the larger urban ecosystem. This brings us to the fourth strategy, which may be referred to as the strategy of changing accessibility. This strategy proposes the occasional transformation of courtyard spaces into public areas, thereby enhancing their multifunctionality and integrating them more fully into the urban fabric. By opening up these spaces to the public, the historic urban fabric can be endowed with the qualities necessary for a modern, vibrant city. This approach also offers the potential for municipal investment in the maintenance and enhancement of these courtyards, contributing to their revitalization. The design aspects associated with this strategy include the development of features that emphasize the historical and cultural significance of these spaces, such as memorials, plaques, or art installations that contribute to the site's memorability and attractiveness as a tourist

destination. Socially, this strategy facilitates the integration of the building community into the broader urban context, enabling them to participate in economic activities related to tourism and hospitality, and fostering a dynamic interaction between residents and the city's diverse population.

In addition to these strategies, there is a burgeoning potential associated with the development of immersive presence technologies. Although still in its nascent stages, these technologies offer the possibility of augmenting the physical environment of courtyard spaces, providing new avenues for social interaction and collective activities even in limited physical spaces. Immersive technologies could potentially mitigate the constraints of physical space, allowing for virtual expansions of these environments and enabling residents to engage in shared experiences that transcend the physical limitations of their surroundings. This could include virtual gardening, augmented reality tours, or digital communal gatherings, adding a layer of technological sophistication to the traditional concept of courtyard spaces. As these technologies evolve, they may offer innovative solutions for enhancing both the social and spatial dimensions of urban living in historic city centers. In a broader context, augmented reality technologies are likely to influence the rethinking of living environments at various levels [15], including the courtyard.

Promising avenues for future research encompass a detailed examination of the multifaceted communication dynamics that emerge within various functional combinations of courtyard space environments. A key area of interest involves investigating the nature and patterns of interactions that occur among different user groups-residents, tenants, employees of offices and shops, and occasional visitors-each of whom may utilize the space for distinct purposes. Understanding these communication patterns is crucial for identifying potential synergies or conflicts that arise when diverse actors share a common courtyard space.

Moreover, research should explore the role of design interventions in addressing the challenges posed by the simultaneous use of these environments by multiple stakeholders. This includes the development of strategies and design solutions that facilitate harmonious coexistence and enhance the functionality of the courtyard for all users. For instance, spatial zoning, adaptive furniture, and flexible layout configurations could be investigated as means to accommodate different activities and interactions within the same space without leading to congestion or territorial disputes.

In addition, an important aspect of future research should focus on identifying the various benefits that effective communication within these shared spaces can yield. These benefits may extend beyond mere functional coexistence and include the fostering of a sense of community, the enhancement of social capital, and the promotion of collaborative behaviors among users. For example, the interaction between residents and commercial tenants could lead to mutually beneficial arrangements, such as local businesses offering discounts to residents or organizing community events that increase foot traffic and customer loyalty. Similarly, the presence of office workers in the courtyard could contribute to a dynamic, vibrant atmosphere during working hours, which might otherwise be underutilized.

Furthermore, research could investigate the potential of courtyard space environments to serve as informal meeting spaces where spontaneous interactions between different user groups occur, leading to the exchange of ideas and the development of social networks. This aspect of communication could be particularly relevant in urban settings, where opportunities for such interactions may be limited due to the compartmentalization of residential, commercial, and professional spaces.

Finally, the exploration of how these communication dynamics and design interventions can be optimized to maximize the overall well-being of all users is another critical area of research. This could involve the application of environmental psychology principles to design spaces that are not only functional but also psychologically supportive, promoting relaxation, socialization, and a sense of belonging among users. In this context, the study of courtyard environments could contribute to broader discussions on the role of shared spaces in urban sustainability and community resilience, offering insights into how design can facilitate positive social outcomes in increasingly dense and diverse urban landscapes.

Conclusions:

The study of the condition and usage patterns of forty courtyards in Lviv city has uncovered a complex and organically developed symbiosis of functions within these spaces. This multifaceted functional integration has emerged spontaneously as a result of several key factors:

a) The strategic location of retail and service establishments on the ground floors of buildings, which often seek to extend their operational footprint into the courtyard spaces, leading to the incorporation of elements such as storage facilities, unloading ramps, and ancillary spaces. This encroachment reflects the dynamic interaction between commercial activities and residential spaces, where the boundaries between public and private domains are frequently negotiated and redefined.

b) The placement of equipment and installations that cater to the everyday household needs of residents, including facilities for drying clothes, storage for strollers, and other practical uses. These elements highlight the functional adaptability of courtyard spaces, which serve as essential extensions of domestic spaces, accommodating a range of utilitarian purposes that support daily life in urban environments.

c) The presence of improvised and often amateur efforts by residents to enhance the aesthetic quality of the courtyard spaces. These include the installation of furniture such as tables and benches, decorative elements like sculptures and flower beds, and functional amenities such as bicycle parking. These resident-driven initiatives underscore the importance of individual and collective agency in shaping the environmental and social character of courtyard spaces, contributing to a sense of ownership and community identity.

d) The adoption of improvised methods by residents to ensure private security within the courtyard spaces, including the installation of fences, grates, and other protective measures. These interventions reflect the dual role of courtyards as both shared communal spaces and zones where personal and property security concerns are addressed, illustrating the balance between openness and defensibility in urban residential settings.

Based on the findings of the study, four urban design strategies have been delineated and defined, each of which holds the potential to guide future urban design practices and policies:

a) **Functional Universalization:** this strategy advocates for the integration of courtyard spaces into broader urban planning initiatives aimed at enhancing walkability and achieving optimal population density. By treating courtyards as integral components of the urban fabric, this approach seeks to maximize their utility and connectivity, facilitating more sustainable and livable urban environments. The concept of functional universalization envisions courtyards as multifunctional spaces that contribute to the overall accessibility and fluidity of the urban landscape.

b) **Spatial Diversification:** this strategy focuses on reinvigorating the ideological concept of courtyards as green oases and recreational areas, while also promoting the vertical expansion of spatial elements. By incorporating vertical gardens, green walls, and other forms of vertical landscaping, this approach aims to enhance the ecological value and aesthetic appeal of courtyard spaces, transforming them into verdant sanctuaries within the urban core. Spatial diversification seeks to counteract the effects of urban densification by providing residents with accessible green spaces that support both environmental sustainability and human well-being.

c) **Communicative Adaptability:** this strategy involves the introduction of functions into courtyard spaces that were traditionally associated with external street areas, but which are specifically designed to serve the immediate residential community. By reimagining courtyards as semi-public spaces that facilitate social interaction and community engagement, this approach emphasizes the role of courtyards as venues for local events, gatherings, and other forms of communal activity. Communicative adaptability aligns with the principles of co-housing and community-oriented urban design, fostering a sense of solidarity and collective identity among residents.

d) **Variable Accessibility:** this strategy proposes a flexible approach to the accessibility of courtyards, allowing for controlled access by external visitors at designated times. By opening courtyards to the public on a limited basis, this approach seeks to balance the private needs of residents with the public interest in preserving and utilizing historic urban spaces. Variable

accessibility encourages the integration of courtyards into the broader urban experience, potentially enhancing their cultural and economic value while also ensuring that their primary function as residential spaces is maintained.

These strategies, when considered together, offer a comprehensive framework for the future development and management of courtyard environments in urban settings. By addressing the functional, ecological, social, and accessibility aspects of courtyards, these strategies provide a roadmap for enhancing the quality and sustainability of urban living, while also preserving the unique character and historical significance of these spaces.

References

- [1] S. Lehmann, "Sustainable urbanism: towards a framework for quality and optimal density?", *Future cities and environment*, 2, pp. 1-13, 2016.
- [2] R. Silva, M. Zwarteveen, D. Stead, & T. Bacchin, "Bringing Ecological Urbanism and Urban Political Ecology to transformative visions of water sensitivity in cities", *Cities*, p. 145, 2024.
- [3] Y. Zhang & W. Dong, "Determining minimum intervention in the preservation of heritage buildings", *International Journal of Architectural Heritage*, 15(5), pp. 698-712, 2021.
- [4] R. Gupta, M. Joshi, "Courtyard: A Look at the Relevance of Courtyard Space in Contemporary Houses", *Civil Engineering and Architecture*, 9.7, pp. 2261-2272, 2021.
- [5] M. Taleghani and M. Tenpierik, "Environmental Impact of Courtyards – a Review and Comparison of Residential", *J. Green Build.*, vol. 7, no. 2, pp. 113-136, 1986.
- [6] D. Keister, *Courtyards: Intimate outdoor spaces*. Gibbs Smith, 2005.
- [7] D. Zhang, *Courtyard housing and cultural sustainability: theory, practice, and product*. Routledge, 2016.
- [8] A. Erarslan, "A Comparative Analysis on the Spatial Organization of the Traditional Courtyard House with Iwan in Southeastern Anatolia", *Aula Orientalis: Revista de Estudios Del Próximo Oriente Antiguo*, 38.1, 2020.
- [9] M. Masullo, et al., "Historical cloisters and courtyards as quiet areas", *Sustainability*, 12.7, 2020.
- [10] T. M. Adebara, "Private open space as a reflection of culture: the example of traditional courtyard houses in Nigeria", *Open House International*, 48.3, pp. 617-635, 2022.
- [11] R. Frankiv, "The city of the future in the European Commission's documents: A comprehensive analysis", *Architectural studies*, 9(2), 2023.
- [12] S. Linda, A. Rybchynskyi, "Inner courtyards in the building structure of historical cities. Development and modern problems", *Urban planning and territorial planning*, no. 48, pp. 267-272, 2013.
- [13] Ch. Larsen, Ch. Albrekt, *Social cohesion: Definition, measurement and developments*. 2014.
- [14] S. Linda, J. Vanivska, "Cohousing architecture as a way to solve the problem of harmonious coexistence", *Urban planning and territorial planning*, no. 51, pp. 305-311, 2014.
- [15] R. Frankiv, "Prospective directions of urban concepts transformation in the context of the immersive presence environments development", *Modern construction and architecture* no. 7, pp. 66-72, 2024.

ПРОЄКТНІ СТРАТЕГІЇ УРБАНІСТИЧНОЇ ІНТЕРПРЕТАЦІЇ ДВОРОВИХ ПРОСТОРІВ ІСТОРИЧНИХ МІСТ: ДИЗАЙНЕРСЬКІ ТА СОЦІАЛЬНІ АСПЕКТИ

Рибчинський А.О., аспірант,
adrian.o.rybchynskiy@lpnu.ua, ORCID: 0009-0004-8793-5980
Національний університет «Львівська політехніка»,
вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79000, Україна

Анотація. Зміна урбаністичної парадигми впродовж ХХ століття привела до суттєвого переосмислення життєвого простору мешканців міст. Принципи модерністського світогляду, які набули характеру універсальної проектної стратегії в Афіській хартії 1931 року, дали початок негативному ставленню до квартальної забудови, котра панувала до того. Дворові простори, котрі були їй властиві стали сприйматись як недостатні, а їх початкова концепція, як місця рекреації та спілкування зазнала переосмислення. Внаслідок цього, внутрішні середовища кварталів стали стихійно використовуватись мешканцями для різних потреб, що привело до їх хаотизації та деградації. Особливо це стосується міст України, де відбувався процес ущільнення населеності історичних центрів із збільшенням навантаження на всі типи просторів.

Криза модерністського проектування та поширення цінностей постмодерну повернули увагу до історичної спадщини, як допоміжного джерела формотворення і зняли гостроту протистояння між «сучасним» модерністським світоглядом та «історичним». В подальшому, урбаністичні концепції ввібрали в себе багато ідей, пов'язаних із екологічним дискурсом, інклюзивністю, безбер'єрністю, пішохідною доступністю та щільністю. Все це суттєво змінило розуміння підходів та принципів інтерпретації історичних міських просторів, в тому числі дворів житлової забудови.

У статті розглянуто перспективні проектні стратегії, котрі можуть бути використані для сучасного трактування дворових середовищ, передовсім зосереджених на дизайнерських та соціальних аспектах. Це пов'язано із методологічною структурою, котра виходить із двоякого розуміння пріоритетів даного процесу. З одного боку, дворові простори сприймаються як місця рекреації та озеленення, а з іншого – як середовища для комунікації та гуртування колективу мешканців.

В зв'язку із цим, виділено чотири проектні стратегії, котрі в майбутньому можуть лягти в основу окремих напрямків міського дизайну: а) функціональної універсалізації; б) просторової диверсифікації; в) комунікаційної адаптивності; г) мінливої доступності. Під першою стратегією розуміється інтеграція дворових просторів у заходи із впровадження короткої доступності та оптимальної щільності. У цьому випадку мова іде про внесенні у дворові простри ряду функцій, котрі були властиві зовнішнім вуличним ареалам, які, однак спрямовані на найближчих мешканців. Друга стратегія спрямована на повернення до ідеології зелених оаз та рекреаційних зон, з подальшим розширенням просторових елементів за рахунок вертикального розвитку. Стратегія комунікаційної адаптивності пов'язана з розвитком внутрішніх дворів як місць гуртування та солідаризації будинкового колективу. Остання стратегія пов'язана з пропозицією надавати в певний час доступ до внутрішніх дворів зовнішнім відвідувачам.

Ключові слова: проектні стратегії, урбаністика, дворові простори, громадські простори, дизайн, інклюзивність, адаптивність, міське озеленення.

Стаття надійшла до редакції 14.06.2024

EUROPEAN PRINCIPLES OF UNIVERSAL DESIGN AND THEIR APPLICATION IN THE ARCHITECTURE OF UKRAINIAN CITIES

Frankiv R., PhD, Associate Professor,
romanfrankiv@gmail.com, ORCID: 0000-0003-1100-0930
Lviv Polytechnic National University
S. Bandera St., 12, Lviv, 79000, Ukraine

Abstract. The values of a solidary and democratic society, based on the principles of equality, significantly influenced the conceptual and practical principles of design throughout the Modern era. To a large extent, the formative base of modernism – the leading worldview trend that defined the architecture of the 20th and early 21st centuries – is connected with them. One of the important stages in the development of this process was the spread since the 1980s "universal design" concept that aimed at creating a more inclusive space, avoiding various forms of isolation and inequality depending on the physical abilities of a person.

Currently, theoretical and practical achievements in this area make it possible to talk about a holistic system of views on design, which, however, still remains largely unrealized to the extent that the goals of universal design can be considered generally achieved. Nevertheless, thanks to the implementation of a number of initiatives and programs, inclusive and friendly environments for different groups have begun to emerge in many European cities, which testify to the benefits of the "design for all" concept. In addition to the purely humanistic aspect, it also gives cities advantages in terms of a more complete use of human potential, maintaining a high economic and social attractiveness, which ultimately increases the competitive indicators of the city.

This article consists of three principle parts, two of which are reflective and one analytical. In their sequence, they have the following form: a) an outline of the current concepts of universal design, which are present in various initiatives and programs of the European Union and a wider range of sources that create the relevant discourse; b) assessment of issues related to the equality of space in domestic analysis and practice; c) determination of the local specificity of Ukraine, which determines the perspective of applying the principles of universal design.

Based on the analysis, have been outlined the main features of a possible strategy for the development of universal design principles in Ukrainian cities, including taking into account the consequences of full-scale russian military aggression, which began in February 2022.

Keywords: universal design, Ukrainian cities, European initiatives, inclusiveness, barrier-free, user-centered design, integral accessibility, post-war reconstruction.

Introduction. The concept of universal accessibility, which has developed over the past decades, is currently a multifaceted system of views on design, the relevance of which is constantly growing due to many factors. First of all, it is an increase in life expectancy, which has the consequence of an increase in the number of elderly people. The resulting concepts of age inclusiveness and friendliness to different age groups are one of the examples of how urban planning concepts and social behavioral models are transformed under the influence of changing age demographics. However, the category of universal design is a wider ecosystem of outlook on the environment, which requires much greater efforts, including implementation into mass culture and lifestyle. In this regard, various forms of institutionalization, legislative fixation and authoritative constitution of universal design has a great importance, due to which special attention belongs to various programs and acts that have been developed or supported at the level of the European Union, as well as by full and associated members. In view of the European integration strategy of Ukraine, an important topic of the architecture theory is the development of a strategy to involve the aforementioned array of deterministic foundations and practices into the reality of domestic science and project outlook. The architecture of Ukrainian cities,

especially in view of the consequences of full-scale russian military aggression, will require a significant conceptual rethinking, and one of its leading directions should be the strategy of implementing the principles of universal design.

Publications and sources analysis. The main document of the European Union in the field of universal design can be considered the publication named "Achieving full participation through universal design" [1]. It, on the one hand, synthesizes current ideas about the concept and principles of universal design, and on the other hand, much attention is paid to the practical aspects of its implementation in various contexts. A feature of the presentation of the material is its interpretation within the value framework of the European Union based on the equality and equal value of all members of society. Therefore, universal design is seen not only as a strategy for caring for the disabled, but also as a concept of blurring the perceptual difference between members of society depending on their physical condition.

In addition, universal design has become the subject of many well-founded scientific studies, among which books can be highlighted E. Steinfeld та J. Maisel "Universal Design: Creating Inclusive Environments" [2], S. Goldsmith "Universal Design" [3], S. Burgstahler "Universal Design: Process, Principles, and Applications" [4], R. Null "Universal design: Principles and models" [5], A. Hamraie "Building access: Universal design and the politics of disability" [6], J. S. Kim and Y. J. Byung. Universal safety and design: Transition from universal design to a new philosophy [7], K. Carr and others "Universal design: A step toward successful aging" [8] etc. In most of these and other similar works, one can trace the common structure of the presentation of the material, which consists of three principle parts: a) a historical excursion about the emergence of the concept of universal design; b) justification of its compliance with the values of an inclusive and solidary society; c) outline of a number of practical directions and methods of its implementation.

It is important to note that it is characteristic of European initiatives related to the subject of universal design to associate it with the category of "quality of life" [9], as well as the competitiveness of urban collectives.

The goal of the article consists in outlining the specifics of the potential for the implementation in Ukraine of the principles of universal design, which are defined by the documents of the European Union.

Objectives of the study. Given the special relevance of the theme of universal design for Ukraine, which became a victim of russian military aggression, an important task of the theory of architecture is to determine effective ways of forming the National Strategy for the Development of the Environment, which is based on the values of barrier-free and integral accessibility, strengthening factors that contribute to the solidarity of society regardless of age and functional characteristics of citizens.

In connection with this task of the research, there is an outline of a number of prerequisites that can significantly improve the quality of inclusiveness based on the already existing world experience, among which the European experience represents the greatest value. This is due to two main factors – territorial proximity and the status of an associate member of the European Union. For this, it is necessary to perform the following consecutive steps, which are related to the comparative analysis of current European developments and special features that determine the Ukrainian specificity of this issue. It is assumed that preliminary analytical work in this direction will provide an opportunity to move to the stage of developing practical recommendations both at the national and regional levels.

Research materials and methods have a two-syllable character and correspond to his tasks. At the first stage has been carried out, an analysis of theoretical and practical material related to the determination and implementation of the concept of universal design based on its interpretation by the institutions of the European Union. On the second, there is a comparison of the obtained results with the current state of the architectural living space in Ukraine with an emphasis on its compliance with the values of integral accessibility.

Results and discussion. The concept of universal design encompasses a wide interdisciplinary discourse and also touches on fields of knowledge that are not directly related to

architectural design and urban planning, such as education, web design, employment, etc. Therefore, the attention in this article will be focused only on those aspects that relate to the physical living space on the scale from premises to urban formations.

On the basis of the above-mentioned sources and, above all, the publication "Achieving full participation through universal design", it is possible to single out the following areas of development of universal design, which have a priority status and relate to the thematic boundaries of this article: a) ensuring equal access to civic activity, implementation of political rights and freedoms, demonstration of one's opinion on various aspects of social life, etc.; b) ensuring equal access to places of leisure, culture and neighborhood communication; c) the development of such standards of living that will make it impossible to differentiate accessibility to any benefits depending on the user's physical condition; d) ensuring the same level of mobility within the urban space.

In general terms, the ergonomics of universal accessibility can be systematized according to the following large-scale circles: a) universalization of personal space (furniture, planning, landscaping, etc.); b) universalization of pedestrian accessibility (shops, parks, leisure, sports infrastructure, etc.); c) universalization of urban transport infrastructure (stops, tracks, parking, etc.); d) universalization of places of city-wide interaction (theaters, museums, central squares, botanical gardens, etc.). The structure indicated here is complemented by other directions of achieving equality of opportunities in the field of media [10], education [11], etc.

In view of the above outlined directions of development of universal design in architectural design and urbanism, which have also received approval in a number of municipal projects of European cities, it is worth focusing on the state of correspondence between existing experience and the imagined ideal of an environment of universal accessibility. Examples of the implementation of certain local initiatives are mostly of a limited nature and serve only as "signal" markers for further dissemination. The paradigm of spatial equality and equality of opportunities, which is seen as a leading feature of the architecture of the 21st century [12], faces the problem of the nature of constitution. As a certain total feature of the space, universal accessibility has often been perceived within the framework of the "progressive" worldview, as a new ideology framework that replaces outdated, limited and erroneous views that should remain in the past. At the same time, the practice of various initiatives has shown that instead of a "progressive" vision of implementing the concept of universal design, a "performative" approach is more effective. It involves flexible work with the existing environment, which is gradually transformed by layering various transformative changes, as a result of which the universal design achieves its goal.

The performative framework also allows for the creation of a realistic strategy for the implementation of spatial equality in Ukraine, which has developed its own urban specificity, which will be discussed further. In contrast to most European cities (especially Western European), the following features of the architectural and urban planning environment can be noted: a) a significant legacy of the typical design of the Soviet era of the 1970s and 1980s; b) the spread of high-density buildings in the 2000-2020s period (primarily in large cities). Spatial formations of both these types have different performance potential and require separate consideration. In addition, there are common features between European and Ukrainian cities, especially those related to the historical area, suburban areas of low-rise buildings and objects of moderate modernism (which differs from the heritage of construction according to typical projects).

Next will be considered the potential of realizing each of the four generalized directions of universalization corresponding to the documents of the European Union with the just mentioned features of the urban specificity of Ukrainian cities. The universalization of personal space within the legacy of the typical built-up of the Soviet era of the 1970s and 1980s is one of the most difficult tasks, since this type of objects is characterized by extreme pragmatism in terms of space saving [13]. In this regard, two possible scenarios of actions can be distinguished – minimalist and maximalist. The first should include the strategy of transformation of this kind of entities in the direction of reducing the number of residents and increasing the living space per person. This will make it possible to implement ergonomic techniques of universalization and improve the level of

inclusiveness. The maximalist scenario includes programs to replace areas of typical development with new ones, more adapted to improved conditions of presence. The universalization of pedestrian accessibility for this type of environment should be based on the use of a significant reserve of territory, which is an inherent feature of typical built-up areas. It should be used to deploy additional equal opportunities equipment and infrastructure, which also includes the provision of additional elevators, entrances, ramps, safe leisure areas, etc. The universalization of urban transport infrastructure for this type of architectural and urban planning environment should probably take into account the need not only for the proper arrangement of public transport stops, but also for the transformation of access routes to them. This is due to the fact that the norms, in accordance with which such housing units were designed at the time, were aimed at physically healthy people of working age. Therefore, using the already mentioned potential of a large supply of in-house and intra-neighborhood spaces, it is necessary to create individual projects of paths for movement on wheelchairs, with the help of means for the blind, elderly people and children, etc. In addition, it is necessary to pay attention to the intersection of communication elements. An example can be underground pedestrian crossings, which were initially designed without taking into account the interests of people with special needs. A similar specificity is also characteristic of larger transport hubs, such as railway stations, complex interchanges of public transport. In all these cases, the functional modernist morphology allows introducing elements of universal design at a level sufficient for its full functioning. The universalization of places of city-wide interaction is considered here not on a city-wide scale, but in the context of a residential area and therefore concerns local places of attraction such as cinemas, churches, natural objects of general attraction (lake and river embankments, hills with a panoramic view, etc.). Very often, these zones underwent changes during the period of the late 20th and early 21st centuries and lost the initial potential that made it possible to effectively implement the program of diversity of opportunities. However, in those cases where the authentic environment is preserved, it is necessary to use the already existing accessibility infrastructure as a starting point for full universalization of the environment. As a rule, in the era of late Soviet modernism, wide staircases, deep niches, various methods of accentuating the features of the object by increasing the scale of certain details were used in the objects according to the so-called individual projects. All these elements can be used to accommodate the infrastructure of equal opportunities.

Given the similarity of the environments created as a result of construction according to typical projects, it is worth considering the possibility of developing a series of unified recommendations and block design solutions that will simplify the process of developing working documentation and reduce the overall costs of implementing projects implementing the principles of universal design in these cases. At the same time, it should be understood that the very "typicality" of one's living space is mostly perceived by residents as a disadvantage, therefore, the implementation of such strategies should involve a significant level of variability and creative interpretation in each individual case. It should also be borne in mind that a typical Soviet building often arose as a result of the construction of one or another factory or enterprise to house its employees. As a result, large solidarity communities of residents emerged, which are connected not only by a common neighborhood, but also by former joint activities. This, in turn, improves the prospects of their participation and participation in the development of initiatives regarding the implementation of the principles of universal design in their own living space. Although at the moment, given the disappearance of most of the former enterprises of the planned economy, this potential has probably decreased, nevertheless, the tradition of shared life experience, which took the form of transmission between generations, should be considered as a valuable factor in the further urban performance of this kind of residential environments.

The concept of implementing the principles of universal design in the conditions of high-density buildings of the 2000-2020s period is a more difficult task for theoretical reflection, because of their greater heterogeneity and spontaneity. Although many construction objects of that time had a modernist character [14], the principles of their design often differed significantly from the basic principles of socially responsible calculation of functional rationality. The dominance of the

commercial settlement and the erosion of the complex principles of the arrangement of the living space resulted in a decrease in the number of nearby accessible green areas, residential areas, educational institutions and leisure facilities. In addition, closed, isolated environments began to appear, which significantly changed the parameters of accessibility and equal accessibility [15].

With this in mind, the universalization of personal space for this type of environment consists in an individual search for an appropriate planning solution in the conditions of a flexible structural system of buildings, among which the absolute advantage belongs to frame structures. A much more difficult task is the transformation of residential areas, which are mostly small and filled with cars that lack parking spaces. Many examples of this type of building can be recognized as suitable for non-discriminatory transformation only under the condition of very significant changes in the strategy of treating individual transport. Instead, the universalization of pedestrian accessibility here, as a result of higher density, has a more favorable character. The practice of locating commercial real estate at the ground level significantly improves universal and quick accessibility to many benefits. At the same time, the low level of greening and recreational areas indicates the need for a more systematic approach to the perspective transformation of buildings in the years 2000-2020. The universalization of urban transport infrastructure should take into account the fact that the residential structures of that time arose without reference to the complex calculations that were inherent in the age of advanced modernism. Herewith, the objects that arose during this period can be both well located in relation to the city-wide transport network and almost completely disregard it, focusing on private vehicles. Therefore, the strategy for achieving equality of opportunities should focus on laying new routes and diversifying types of mobility. The universalization of places of city-wide interaction is one of the most difficult tasks given their small presence in this type of development. This is due to weak state regulation and the priority of commercial calculations of developers, who primarily preferred the construction of residential areas for sale. Therefore, in certain cases, even those public spaces that already existed disappeared. In this regard, it is worth talking about several ways to solve this problem, the main of which is the improvement of the currently existing service centers by providing them with more diverse functions and missions. This can happen as a result of coordinated activities of local communities with authorities, including through the implementation of special programs for the humanization of the urban environment. Studies of recently built complexes testify to the existence of a rather one-sided approach to the universalization of this kind of residential environment. It consists in concentrating attention only on the formal arrangement of playgrounds, often without accompanying infrastructure. This leads, in particular, to the fact that children remain in the danger zone even while on such sites, and the special needs of older residents are not taken into account at all. In addition, the lack of a sufficient number of places for vehicles significantly changes the nature of those minimal efforts to ensure equality of opportunities, which are implemented in certain places.

Taking into account such circumstances, the implementation of the values of equal access in the built-up spaces of 2000-2020 requires a complex mechanism of transformation, which may, among other things, require some changes in the planning and spatial structure and, probably, a change in the functional purpose of living spaces. Friendly spaces for different ages and physical conditions will require the restructuring of a larger urban area, with the possibility of access to it by residents of different buildings and a rethinking of the principles of gated communities. A special task is the transformation of approaches to vertical communication, which arose as a result of the development of high-rise residential construction and often does not take into account the needs of universal design [16]. Two approaches can be distinguished: radical and moderate. As part of the first, some of the highest levels are reimagined as zones of general accessibility, recreation and leisure, with the possibility of getting there by both existing and new means of vertical transportation. Probably, some apartments or technical premises should change their functional status. In a moderate version, it is possible to limit yourself only to the installation of new elevators, with a greater degree of equality of access, which allow overcoming the currently existing restrictions.

Conclusions:

1. The following priority directions for the development of universal design in the field of architecture and urbanism, which are supported by EU documents, have been identified: a) ensuring equal access to civic activity, exercising political rights and freedoms, demonstrating one's opinion regarding various aspects of social life, etc.; b) ensuring equal access to places of leisure, culture and neighborhood communication; c) the development of such standards of living that will make it impossible to differentiate accessibility to any benefits depending on the user's physical condition; d) ensuring the same level of mobility within the urban space. In accordance with these directions, large-scale circles of ergonomics of general accessibility are outlined: a) universalization of personal space (furniture, planning, landscaping, etc.); b) universalization of pedestrian accessibility (shops, parks, leisure, sports infrastructure, etc.); c) universalization of urban transport infrastructure (stops, tracks, parking, etc.); d) universalization of places of city-wide interaction (theaters, museums, central squares, botanical gardens, etc.).

2. The general features of the "performative" approach to the probable national strategy for the implementation of the principles of universal design are formulated, in connection with which two specific features of Ukrainian cities are highlighted, in relation to which European documents in this field should be adapted in a special way, namely: a) significant the legacy of the typical design of the Soviet era of the 1970s and 1980s; b) the spread of high-density buildings in the 2000-2020s period (primarily in large cities). A brief description of the design action strategy for each of the general accessibility ergonomics circles is provided for these two specific features.

References

- [1] S. Ginnerup, Council of Europe. Committee on the Rehabilitation and Integration of People With Disabilities and Council of Europe. Committee of Experts on Universal Design. Achieving full participation through universal design. Strasbourg: Council of Europe, 2009.
- [2] E. Steinfeld and J. Maisel, *Universal Design : Creating Inclusive Environments*. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc, 2012.
- [3] S. Goldsmith, *Universal Design*. Routledge eBooks. Informa, 2007 doi:<https://doi.org/10.4324/9780080520209>.
- [4] S. Burgstahler, *Universal Design: Process, Principles, and Applications*. DO-IT, 2009.
- [5] R. Null, ed. *Universal design: Principles and models*. CRC Press, 2013.
- [6] A. Hamraie, *Building access: Universal design and the politics of disability*. U of Minnesota Press, 2017.
- [7] J.S. Kim and Y.J. Byung, "Universal safety and design: transition from universal design to a new philosophy", 67.1, pp. 157-164, 2020.
- [8] K. Carr, et al., *Universal design: A step toward successful aging*. Journal of aging research 2013.
- [9] Living Conditions, European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions. 2016. www.eurofound.europa.eu/en/topic/living-conditions.
- [10] T. O'connell, L. Goldberg, *Universal design in media*. Universal design handbook. New York: McGraw-Hill, 2011.
- [11] S. Burgstahler, *Universal Design in Education: Principles and Applications*. DO-IT, 2009.
- [12] W. Preiser, *Paradigm for the 21st century: The challenge of implementing Universal Design*. Trondheim, Norway: Tapir Academic Press, 2009.
- [13] L. Stanek, *Architecture in global socialism: Eastern Europe, West Africa, and the Middle East in the Cold war*. Princeton University Press, 2020.
- [14] R. Frankiv, "Theoretical and terminological bases for definition of neo-modernist architecture in Lviv", *Architectural Studies*, vol. 5, no. 2, pp. 75–81, 2019.
- [15] Y. Idak and R. Frankiv, "Gated communities in Lviv: between social demand and spatial limitation", *Spatium*, (48), pp. 22–29, 2022.

- [16] A. Sholanke, I. Adelowo, & J. Gbotosho, "Compliance of high-rise buildings vertical accessibility components with universal design strategies: a case study of covenant university", *Civil Engineering and Architecture*, 8(5), pp. 735-749, 2020.

ЄВРОПЕЙСЬКІ ПРИНЦИПИ УНІВЕРСАЛЬНОГО ДИЗАЙНУ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ В АРХІТЕКТУРІ УКРАЇНСЬКИХ МІСТ

Франків Р.Б., к. арх., доцент,
romanfrankiv@gmail.com, ORCID: 0000-0003-1100-0930
Національний університет «Львівська політехніка»
вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79000, Україна

Анотація. Цінності солідарного та демократичного суспільства, ґрунтованого на принципах рівності, впродовж всієї Сучасної епохи суттєво впливали на концептуальні та практичні принципи проектування. З ними, значною мірою, пов'язана сама формотворча база модернізму – провідного світоглядного напрямку, який визначив архітектуру ХХ та початку ХХІ століття. Одним із важливих етапів розвитку цього процесу стало поширення з 1980-х років концепції «універсального дизайну», спрямованого на творення більш інклюзивного простору, уникнення різних форм ізоляції та нерівноправності залежно від фізичних здатностей людини.

На даний час, теоретичні та практичні здобутки у цій царині дають можливість говорити про цілісну систему поглядів на проектування, яка, однак, досі залишається, значною мірою не реалізованою у тій мірі, коли цілі універсального дизайну можуть вважатись загалом досягнутими. Тим не менше, завдяки реалізації ряду ініціатив і програм, у багатьох європейських містах стали виникати інклюзивні та дружні до різних груп середовища, які свідчать про переваги концепції «проектування для всіх». Крім суто гуманістичного аспекту, вона також дає містам переваги з точки зору більш повного використання людського потенціалу, підтримки високої економічної та соціальної привабливості, що зрештою підвищує конкурентні показники міста.

Дана стаття складається із трьох принципових частин дві з яких рефлексивні і одна аналітична. У своїй послідовності вони мають наступний вигляд: а) окреслення актуальних концепцій універсального дизайну, які присутні у різних ініціативах і програмах Європейського Союзу та ширшого кола джерел, котрі творять відповідний дискурс; б) оцінка проблематики, пов'язаної із рівноправністю простору у вітчизняній аналітиці та практиці; в) визначення локальної специфіки України, котра визначає перспективу застосування принципів універсального дизайну.

На основі проведеного аналізу, окреслено головні риси ймовірної стратегії розвитку принципів універсального дизайну в українських містах, в тому числі, з врахуванням наслідків повномасштабної російської військової агресії, котра розпочалась у лютому 2022 року.

Сформульовано загальні риси «перформативного» підходу до ймовірної національної стратегії впровадження принципів універсального дизайну, у зв'язку з чим виокремлено дві специфічні риси українських міст, щодо яких слід розглядати європейські документи у цій сфері. особливим чином адаптовано, а саме: а) суттєва спадщина типового дизайну радянської доби 1970-1980-х років; б) поширення щільної забудови в 2000-2020-х роках (насамперед у великих містах). Короткий опис стратегії проектування для кожного із ергономічних кіл загальної доступності надається для цих двох конкретних функцій.

Ключові слова: універсальний дизайн, українські міста, європейські ініціативи, інклюзивність, безбар'єрність, користуваче-центричний дизайн, інтегральна доступність, повоєнна відбудова.

Стаття надійшла до редакції 24.07.2024

INFLUENCE OF MECHANICAL ACTIVATION ON THE PROPERTIES OF CEMENT-WATER COMPOSITIONS WITH THE ADDITION OF GROUND LIMESTONE

¹**Gorbovoy O.L.**, graduate student,
gorbovoy@gmail.com, ORCID: 0009-0001-5425-4327
¹**Streltsov K.A.**, Ph.D., Associate Professor,
0989051837@ukr.net, ORCID: 0000-0021-5463-7395
¹**Barabash I.V.**, Doctor of Technical Sciences, Professor,
dekansti@ukr.net, ORCID: 0000-0003-0241-4728
¹*Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture*
st. Didrikhsona, 4, Odessa, 65029, Ukraine

Abstract. The paper considers the issue related to determining the effect of mechanical activation of a mineral binder on the properties of both hardening and hardened cement-water compositions. The mechanical activation of cement in combination with the consumption of ground limestone, the amount of which was adjusted in the range from 0 to 40 % of the cement mass, is relevant for this study. The effect of mechanical chemical activation of Portland cement only and Portland cement with the addition of 20 and 40 % ground limestone on changing the water-solid ratio of equiviscous compositions was studied. It was shown that mechanical and chemical activation of a cement-water composition has a positive effect on reducing the W/S ratio of equiviscous compositions from 0.42 (no activation) to 0.38 (activation period 180 sec). The obtained experimental results indicate the presence of an induction period of heating of the cement paste both on Portland cement not subject to mechanical activation (this period is approximately 6 hours from the moment of interaction of cement with water) and on Portland cement subject to mechanical activation. In this case, the induction period was no more than 2 hours. Joint mechanical activation of an aqueous mixture of Portland cement and ground limestone ensures acceleration of the hydration processes of the binder, which is confirmed by the intensification of the exothermic heating of the filled cement-mixing compositions. The positive role of mechanical activation is also reflected in the acceleration of the thickening rate of the compositions, which was recorded by the kinetics of the decrease in the diameter of their spread over time. The positive role of mechanical activation in reducing the effective viscosity of cement-containing compositions is confirmed, which ensures a decrease in their water-solid ratio by an average of – 8 ... 10 %. A positive effect of mechanochemical activation of Portland cement with the addition of ground limestone on the strength of cement stone at the age of 3 days has been revealed. Experimental studies indicate that only due to mechanical activation the strength of samples made of cement stone with the addition of ground limestone can be increased by almost 25...30 %.

Keywords: mechanical activation, Portland cement, ground limestone, exothermic heating, cement stone.

Introduction. In the technology of production of mixed cements, Portland cement with the use of ground limestone is widely used. Such cement is obtained both by compatible grinding of Portland cement clinker, limestone and the addition of dihydrate gypsum and by careful mixing of Portland cement with ground limestone.

A promising method for improving the physical and mechanical characteristics of hardened composites based on such mixed cements is their mechanochemical activation in a high-speed mixer. The issues considered in the article are related to determining the effect of the addition of ground limestone on the properties of cement-water compositions, namely water-hardening ratio, exothermic heating and compressive strength of cement stone.

Analysis of the latest research and publications. One of the important problems in the technology of production of mixed cements is the creation of optimal combinations of Portland cement with mineral additives, including ground limestone, the presence of which increases the potential capabilities of the binder [1-3]. In this regard, the replaceable part of Portland cement with mineral additives, in addition to economic efficiency, helps to obtain a binder with improved properties [4, 5].

The effect of introducing mineral additives into Portland cement significantly enhances the mechanical and chemical activation of mixed cement in turbulent flows [6-10]. In works [11-13] it is shown that the use of activators helps to solve a set of issues related to both the improvement of a homogeneous freshly prepared mixture and the increase in the strength of cement stone and concrete based on it [14-16]. The use of high-speed mixers for cement activation in combination with the use of mineral additives, in our opinion, will ensure acceleration of cement hardening processes and intensification of exothermic heating, which will make it possible to abandon both heat-moisture treatment and the use of energy-intensive fast-growing cements.

Purpose of the study. The aim of the proposed work is to determine the effect of activation of a mixed binder in a rotary high-speed mixer ($n = 1800$ rpm) on the water-solid ratio (with a constant flow of the composition in the range of 120 ± 5 mm), its exothermic heating and the compressive strength of the cement.

Research methods. Activation of Portland cement and a mixture of Portland cement with ground lime (mixed binder) was carried out by intensive processing of water cement and cement-lime compositions in a rotary high-speed mixer. The use of a rotary mixer provides physical and chemical activation of both Portland cement grains and ground limestone grains. In the turbulent flow, the chemical dispersion of limestone particles is ensured, as well as the peeling off of neoplasms from the surface of cement particles. The activation time of Portland cement and the mixture of binder with ground limestone was 90 and 180 seconds. An inactivated mixture of identical composition, which was subject to mechanical activation, was used as a control.

To determine the exotherm of cement compositions, the thermal method was used, which is characterized by the relative simplicity of conducting the experiment. The thermal method involves effective thermal insulation of the hardening sample at a constant ambient temperature. The temperature of the sample, which is equal to the ambient temperature at the beginning of the experiment, will change over time as a result of two processes, namely:

- a) exothermic reaction resulting from the chemical interaction of cement with water;
- b) heat exchange between the sample and the environment.

Ensuring the same temperature throughout the volume of the sample is achieved by creating a high thermal resistance, for which a thermos is used, which is a glass flask with double walls between which a vacuum is created. Fluctuations in room temperature in the process of determining exothermic heating do not exceed ± 1.5 % °C. The prepared cement dough is placed in a container with a volume of 150 ml. Fixation of the temperature of the sample was carried out at the expense of a mercury thermometer, which was placed in the center of the sample with the help of a copper tube half filled with transformer oil. Fixation of the temperature of the hardening cement dough was carried out every hour until the moment when the next heating indicator did not change or was lower than the previous one.

The influence of mechanical activation and the amount of ground limestone in the binder on strength was determined by mechanical compression tests of beam samples measuring $4 \times 4 \times 16$ cm.

The compositions of the mixtures for the preparation of the samples were taken as given in Table 1.

Research results. The studies were conducted using Portland cement M500 (manufacturer "Yugcement", branch of PJSC "Dikerhoff Cement Ukraine"), which meets the requirements of DSTU B V.2.7-46:2010 "Cements for general construction purposes. Specifications and mixtures of Portland cement with ground lime are 20% and 40 %. To determine the effect of activation of the cement-water composition with the addition of ground limestone on the change in the water-solid ratio, the compositions of the mixed binder were used, which are given in Table 1.

Table 1 – Mixed binder compositions

Composition number	Portland cement, %	Ground limestone, %	Activation of mixed binder, s	Spreading of the mixture cone, mm	W/S
1	100	0	0	120	0.42
2	100	0	90	118	0.39
3	100	0	180	120	0.38
4	80	20	0	121	0.44
5	80	20	90	122	0.42
6	80	20	180	120	0.41
7	60	40	0	11	0.45
8	60	40	90	120	0.43
9	60	40	180	120	0.42

The experimental data presented in Table 1 indicate that the mechanochemical activation of the cement-water composition has a positive effect on the decrease in the water-solid ratio of equiviscous compositions from 0.42 (no activation) to 0.38 (activation period of 180 sec). It should be noted that the main contribution to the decrease in the water-solid ratio is provided by the activation of the cement-water composition for 90 sec (the W/S ratio decreases from 0.42 to 0.39, i.e. by almost 8 %). Subsequent activation causes an insignificant decrease in the water-solid ratio and does not exceed 2...3 %.

A similar effect of mechanical activation on the change in the water-solid ratio (provided that the specified cone spread of the mixture is obtained) is also observed for cement-water compositions with the addition of ground limestone in the amount of 20 and 40 %. Thus, mechanical activation for 180 sec of a cement-water composition with the addition of 20 % ground limestone causes a decrease in the W/T ratio from 0.44 (no mechanical activation) to 0.41, and with the addition of 40% ground limestone from 0.45 (mechanical) to 0.42, i.e. by more than 7 %. It should also be noted that an increase in the content of ground limestone in the binder causes an increase in the water-solid ratio, which, in our opinion, requires the use of plasticizing additives.

As for the kinetics of changes in the diameter of the spread of water-cement-containing compositions depending on the duration of mechanical activation and the content of ground limestone, the following should be noted:

1) mechanical activation causes a more intense thickening of the mixture, which is appeared in a sharp decrease in the diameter of its spread over time;

2) an increase in the content of ground limestone in the binder largely neutralizes the effect of mechanical activation on the increase in the mobility of cement-water compositions, Table 2.

Table 2 – Kinetics of the decrease in the diameter of the mixture cone spread depending on the activation period and the limestone content in the binder

Curing period, h	№ composition								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	120	120	120	120	120	120	120	120	120
0.5	109	105	95	112	115	104	115	109	111
1	104	91	76	105	109	93	109	102	105
1.5	95	75	63	95	98	71	98	92	96
2	83	61		81	81	63	87	83	80
2.5	70			75	68		83	76	66
3	61			69	63		77	68	64
3.5				62			70	62	
4							65		
4.5							61		

* № composition corresponds to the data shown in the Table. 1

The high-speed mixing of cement-containing aqueous compositions with the addition of ground limestone also affects the kinetics of their exothermic heating. The experimental results of exothermic heating are given in Table 3.

Table 3 – Exothermic heating of cement-containing aqueous compositions with the addition of ground limestone

№ composition	Content of ground limestone in binder, %	Binder activation time, s	Initial temperature of the composition (cement + ground limestone + water), %	Temperature of exothermic heating of compositions, °C, after, hour										
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0	0	25	25.2	25.3	25.4	27.5	30.0	38.1	50	61	61	61	60
2	0	90	25	25.0	25.1	27.1	36.0	39.5	59.1	65.3	65.3	65.0	64.5	64.4
3	0	180	25	25.0	27.0	30.0	40.0	62.0	68.2	68.2	68.0	67.6	67.4	67.0
4	20	0	25	25.0	26.5	27.0	27.0	31.0	37.0	48.0	52.1	52.0	49.7	49.5
5	20	90	25	25.0	26.7	27.7	30.0	38.0	47.1	55.8	55.6	55.4	55.0	55.0
6	20	180	25	25.0	27.0	27.5	35.2	54.3	59.0	59.0	58.8	58.6	58.3	58.0
7	40	0	25	25.0	26.1	27.2	28.0	30.0	37.5	42.0	43.4	43.4	43.2	42.1
8	40	90	25	25.5	27.0	29.2	30.0	35.5	40.2	47.3	47.3	47.1	47.0	46.8
9	40	180	25	25.0	27.2	28.0	31.2	46.5	51.3	51.3	57.1	57.0	50.8	50.6

A graphical representation of the kinetics of exothermic heating of the hardening activated cement-water composition (composition Nos. 1, 3 and 6, 8) is shown in Fig. 1.

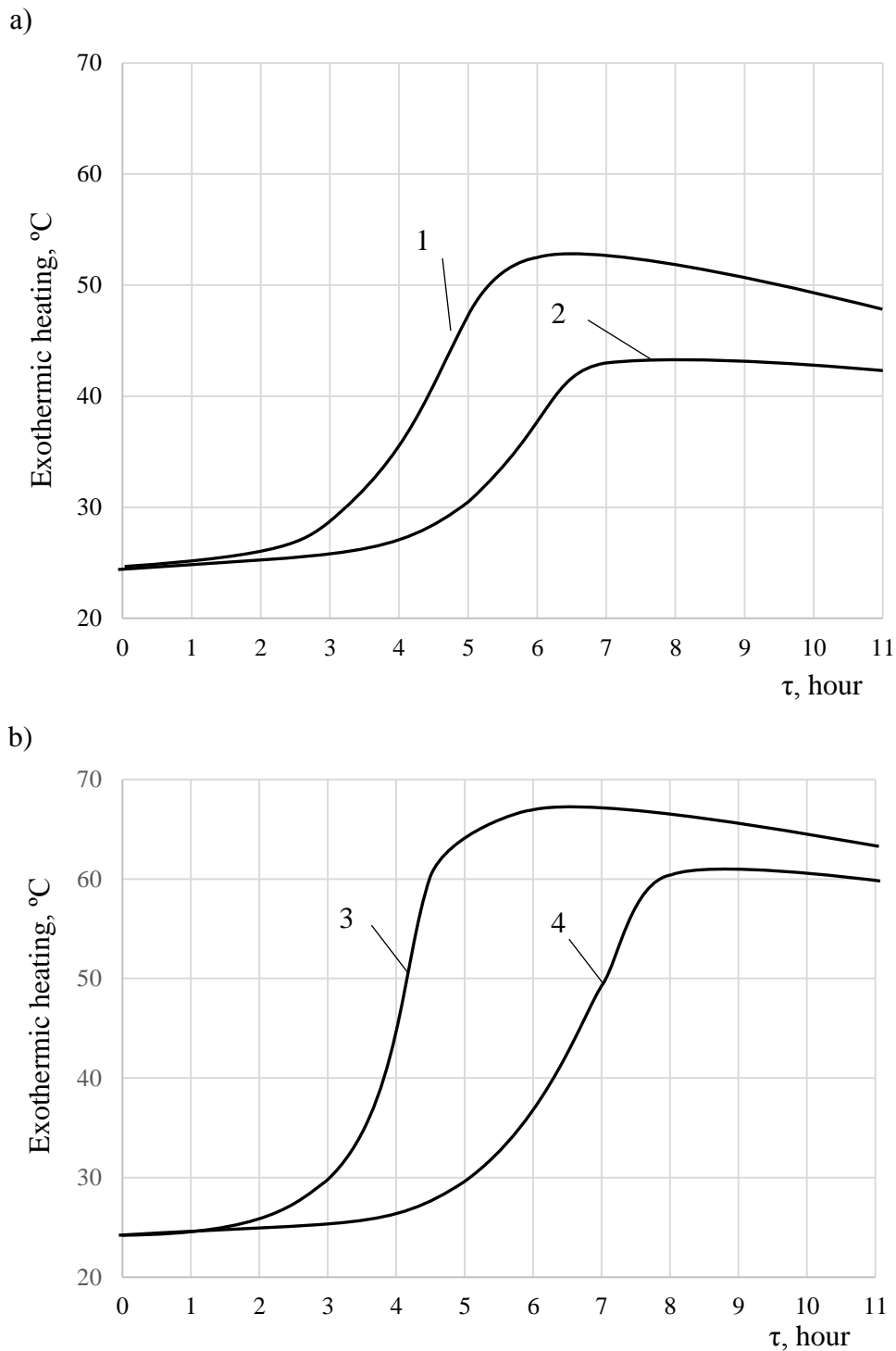


Fig. 1. Effect of mechanical chemical activation on exothermic heating of cement-water composition: a – cement-water composition without addition of ground limestone (warehouses 1, 3); b – cement-water composition with addition of 40% ground limestone (warehouses 6, 8); 1 – cement-water composition activated for 180 sec; 2 – control (no mechanical activation); 3 – cement-water composition activated for 180 sec with addition of 40% ground limestone; 4 – control (no mechanical activation of the given composition)

The results of sample tests given in Table 4 indicate a significant influence on the strength of cement stone of both the mechanical activation of the binder and the amount of ground limestone in the binder.

Table 4 – Compressive strength of cement stone (MPa) depending on the duration of mechanical activation and the content of ground limestone in the binder

Mixture activation time, sec	Composition of the binder		
	Portland cement – 100 %	PC – 80 %; ground limestone – 20 %	PC 60 – %; ground limestone – 40 %
1	2	3	4
0	19.1	15.4	12.1
90	24.2	18.9	16.4
180	25.7	19.7	17.9

Conclusions:

1. Mechanochemical activation of cement-containing compositions with the addition of ground limestone ensures a decrease in their viscosity, which allows to reduce the water-binding ratio by 8...10% and, at the same time, to increase the compressive strength of cement stone at the age of 3 days (compared to control) on average by 25...35%.

References

- [1] M.A. Sanitsky, T.P. Kropivnitskaya, V.M. Gevyuk, *Bistrotverdeyushchie klinkeroeffektivnie tsementi i betoni*. Monograph. Lviv: Prostir-M LLC, 2021.
- [2] L.Y. Dvorkin, V.V. Zhitkovsky, V.V. Marchuk, Y. Stasyuk, M.M. Violinist, *Effektivnie tekhnologii betonov i rastvorov s uprochneniem tekhnogennogo sirya*. Monograph. Rivne: NUVKhP, 2017.
- [3] R.F. Runova, Yu.L. Nosovskyi, *Tekhnologiya modifitsirovannikh stroitelnykh rastvorov*. Kyiv: KNUBA, 2007.
- [4] S.V. Koval, *Modelirovanie i optimizatsiya sostava i svoistv modifitsirovannogo betona*. Odessa: Astroprint, 2012.
- [5] I.V. Barabash, I.M. Babii, K.O. Streltsov, "Intensive separate technology and its influence on the properties of cement-water compositions, solutions and concretes on their basis", *Modern construction and architecture*, Issue no. 2, pp. 44-51, 2022.
- [6] V.I. Bratchun, L.G. Zaichenko, "Optimizatsiya faktorov elektromagnitnoi aktivatsii betonnykh smesei", *Visnik Odes'koï derzhavnoi akademii budivnictva ta arhitekturi*, vol. 20, pp. 40-46, 2005.
- [7] A.G. Maslov, Yu.S. Salenko, E.V. Stukota, "Development of an installation for vibromechanical processing of building mixtures", *Bulletin of the Kharkov National highway un-ta*, vol. 57, pp.59-62, 2012.
- [8] V.N. Vyrovov et al., *Mekhanicheskaya aktivatsiya v tekhnologii betona*. OGASA. 2014.
- [9] S.I. Fedorkin, *Mekhanoaktivatsiya vtorichnogo sirya v proizvodstve stroitelnykh materialov*. Simferopol: Tavria, 1997.
- [10] M.V. Shpirko, T.M. Dubov, "Study of the effect of electromagnetic activation of a concentrated cement suspension on the properties of cement stone and concrete", *Bulletin of PDABA*, no. 2 (263-264), pp. 102-107, 2020.
- [11] A. Kudyahow, G. Semyonova, Y. Sarkisow etc., *Aktivatsiya des Betonanmachwasser*. Tagungbericht, Band 2. Weimar, Deutschland, 1997.
- [12] F. Sanchez, K. Sobolev, "Nanotechnology in concrete - a review", *Construction and Building Materials*, vol. 24, pp. 2060-2071, 2010.
- [13] N.V. Kondratieva, "Nanotechnologies in the production of construction materials", *Construction of Ukraine*, no. 6, pp. 2-9, 2012.
- [14] L.I. Dvorkin, O.L. Dvorkin, *Proektuvannia skladiv betoniv*. Monohrafiia. Rivne: NUVHP, 2015.
- [15] V.I. Gots, *Beton i rastvori*. Kyiv: UVPK Eks Ob, 2003.

- [16] A.V. Usherov-Marshak, A.V. Kabus, "Funktsionalno-kineticheskii analiz vliyaniya dobavok na tverdenie tsementov", *Neorganicheskie materialy*, Tom 52, no. 4, pp. 479-484, 2016.

ВПЛИВ МЕХАНОАКТИВАЦІЇ НА ВЛАСТИВОСТІ ЦЕМЕНТНО-ВОДНИХ КОМПОЗИЦІЙ З ДОБАВКОЮ МЕЛЕНОГО ВАПНЯКУ

¹Горбовой О.Л., аспірант,
gorbovoy@gmail.com, ORCID: 0009-0001-5425-4327

¹Стрельцов К.О., к.т.н., доцент,
0989051837@ukr.net, ORCID: 0000-00021-5463-7395

¹Барабаш І.В., д.т.н., професор,
dekansti@ukr.net, ORCID: 0000-0003-0241-4728

¹Одеська державна академія будівництва та архітектури
вул. Дідріхсона, 4, м. Одеса, Україна, 65029

Анотація. В роботі розглядаються питання, пов'язані з визначенням впливу механоактивації мінерального в'язучого на властивості як тверднучих, так і затверділих цементно-водних композицій. Актуальним для даного дослідження є механоактивація цементу в поєднанні з витратою меленого вапняку, кількість якого корегувалася в діапазоні від 0 до 40 % маси цементу.

Досліджувався вплив механохімічної активації тільки портландцементу та портландцементу з добавкою 20 і 40 % меленого вапняку на зміну водотвердого відношення рівнов'язких композицій. Показано, що механохімічна активація цементно-водної композиції позитивно відображається на зменшенні В/Т відношення рівнов'язких композицій з 0,42 (активація відсутня) до 0,38 (термін активації 180 сек). Одержані експериментальні результати свідчать про наявність індукційного періоду розігріву цементного тіста як на портландцементі, що не підлягав механоактивації (цей період складає приблизно 6 год з моменту взаємодії цементу з водою) так і на портландцементі, який підлягав механоактивації. В цьому разі індукційний період складав не більше 2-х годин. Сумісна механоактивація водної суміші портландцементу та меленого вапняку забезпечує прискорення процесів гідратації в'язучого, що підтверджується інтенсифікацією екзотермічного розігріву наповнених цементно-вмішуваних композицій.

Позитивна роль механоактивації відображається також на прискоренні темпів загустівання композицій, що фіксувалося кінетикою зменшення діаметру їх розпливу в часі. Підтверджена позитивна роль механоактивації в зменшенні ефективної в'язкості цементно-вмішуваних композицій, що забезпечує зниження їх водотвердого відношення в середньому на – 8...10 %.

Виявлено позитивний вплив механохімічної активації портландцементу з добавкою меленого вапняку на міцність цементного каменю в 3-х добовому віці. Експериментальні дослідження свідчать про те, що тільки за рахунок механоактивації міцність зразків із цементного каменю з добавкою меленого вапняку може бути підвищена майже на 25...30 %.

Ключові слова: механоактивація, портландцемент, мелений вапняк, екзотермічний розігрів, цементний камінь.

Стаття надійшла до редакції 10.09.2024

ADHESIVE ABILITY OF GYPSUM-CONTAINING PLASTER COMPOSITIONS

¹Kersh V.Ya., PhD., Professor,

kersh@odaba.edu.ua, ORCID: 0000-0001-6085-5260

¹Levytskyi D.V., postgraduate student,

levin3893@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5350-522X

¹Tihoniuk S.A., postgraduate student,

tihoniuk1984@gmail.com, ORCID: 0009-0009-9444-3905

¹Foshch A.V., PhD, Assistant Professor,

nikitkos@gmail.com, ORCID: 0000-0003-1299-1094

¹Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture

4 Didrikhson str., Odessa, 65029, Ukraine

Abstract. The traditional material for the construction of buildings in the Northern Black Sea region is a cheap local stone – limestone-shell rock. Most of the buildings in the central part of the city of Odesa, which are of historical and architectural value, are constructed of this material. With proper care and maintenance, these structures can perform their functions for hundreds of years, but as a result of shell rock moisture due to negligent operation and a number of other reasons, the supporting structures are damaged, followed by the collapse of the building. In many cases, the direct cause of the destruction of load-bearing walls is the damage or absence of the outer plaster layer. Repairing walls with cement compounds exacerbates the problem. The article discusses some aspects of the possible use of gypsum-based composite materials for repairing damaged walls of limestone-shell rock buildings. The requirements for the repair composition are formulated. The expediency of using gypsum as a binder for the repair plaster mixture for exterior repairs is substantiated. An ash-gypsum-cement composition was used to increase the water resistance of the plaster. Sufficient water resistance and vapor permeability of the proposed composition were confirmed. This paper presents the results of studying the adhesive strength of the contact of the developed composition with the surface of various materials. Methods and measuring equipment developed at the ODABA were used. The adhesion strength of the proposed mixture with the surface of shell rock is close to the standard strength. The use of the adhesive additive Ceresit CC 81 increases the adhesive strength of the joint of the proposed composition with shell rock by 1.5 – 2 times. The optimal amount of the adhesive additive to be introduced will be determined by the results of a multifactorial experiment to study the effect of a complex of chemical additives of different functional purposes on the properties of the proposed repair composition.

Keywords: limestone-shell rock, plaster layer, ash-gypsum-cement mixture, water resistance, vapor permeability, adhesion.

Introduction. Many old buildings in the Black Sea basin are made of cheap local building material limestone-shell rock. This environmentally friendly natural stone has become widespread in the Odesa region due to its good technical and operational properties [1–3]. A significant disadvantage of this material is the loss of strength when it is moistened. As a result of improper and negligent exploitation, cases of destruction of limestone buildings have recently become more frequent. One of the reasons for soaking the walls is the damage or absence of a plaster layer on the exterior surfaces. Repairs to shell rock walls with cement-sand mixtures accelerate the destruction of structures for a number of reasons [4]: chemical incompatibility of materials; greater strength of the plaster compared to the main layer; different deformational properties; and, finally, lower vapor permeability of the plaster layer. The use of imported restoration mixtures recommended for the repair of historic buildings raises certain doubts for a number of reasons:

– the chemical composition of the plasters is unknown, which makes it impossible to conclude that they are compatible with shell limestone;

- short experience of using these materials does not allow us to judge the durability of both the plaster layers and the plastered structures;
- the high cost of imported restoration compositions increases the cost of repair work.

In view of the above, the development of domestic limestone-compatible repair compositions that can compete with foreign, much more expensive analogues is an urgent task. The main requirements for the properties of the plaster composition being developed can be summarized as follows. The mixture must be:

- chemically compatible with the limestone-shell rock material;
- water resistant;
- have sufficient strength;
- have high vapor permeability;
- have good adhesion to shell rock;
- moisture deformations of the hardened plaster layer should be consistent with the characteristics of the main wall;
- should be cost-effective.

Analysis of recent research and publications. For the correct selection of the basis of the repair composition for the walls of buildings made of limestone-shell rock, it is necessary to take into account the technical data of plasters with different types of binders (Table 1) [5].

Table 1 – Technical data of plasters with different types of binders

Characteristics of of the plaster mixture	Types of plasters		
	Gypsum	Cement	Cement-lime
Layer thickness (wall)	50 mm	20 mm	20 mm
Layer thickness (ceiling)	20 mm	—	—
Grain size	1 mm	0.8 mm	0.8 mm
Compressive strength	1-2 MPa	0.9 MPa	0.9 MPa
Adhesion	0.5 MPa	0.4 MPa	0.3 MPa
Vapor permeability	0.15 mg/m·h·Pa	0.07 mg/m·h·Pa	0.07 mg/m·h·Pa
Consumption per 10 MM/M ²	9-12 kg/m ²	15-20 kg/m ²	15-20 kg/m ²

According to Table 1, gypsum-based plasters have the best characteristics. Particularly noteworthy are the large thickness of the layer applied in one pass, high vapor permeability and economical consumption of the mixture per unit area of the treated surface. An extremely important feature of gypsum plasters is the short curing time, which helps to increase the productivity of repair work. However, all these advantages leveled by the low water resistance of gypsum, which makes it impossible to use it in its pure form for exterior facade work. The issues of increasing the water resistance of gypsum compositions are discussed in many publications [6–10]. Promising methods of increasing the water resistance of gypsum ae: the creation of mixtures based on gypsum and cement with the addition of components with pozzolanic activity, the use of hydrophobizing additives, the use of complex additives with ground fillers (for example, expanded clay dust), and others [11, 12].

As a result of analyzing the available information on ways to increase the water resistance of gypsum, this study adopted a gypsum-cement mixture with the addition of thermal power plant ash as a pozzolanic additive as the binder base of the plaster composition. The studies confirmed the sufficient water resistance of the proposed compositions [13]. The softening coefficient of the proposed composition approached 0.8, which already makes the mixture waterproof with the possibility of further increasing water resistance due to hydrophobic additives.

An important criterion for choosing a plaster mixture for shell rock walls is the vapor permeability of the plaster layer and its consistency with the base material. This condition is of particular importance for maintaining the normal moisture state of the building envelope and

preventing excessive moisture accumulation in the walls during operation, which leads to a loss of structural strength and their possible destruction. Measurements of the transfer properties of the proposed ash-gypsum-cement compositions by the "dry cup" method showed that their vapor permeability exceeds the vapor permeability of limestone-shell rock [14], i.e., the plaster layer will not prevent the escape of vaporized moisture from the wall to the outside.

The strength of adhesion of the plaster layer to the wall base-shell rock – is also an important factor to consider when designing a repair composition. Adhesion refers to the adhesion of materials of different composition and structure, which is due to their physical and chemical properties. The adhesion of building and finishing materials is carried out mainly on the principle of mechanical and chemical bonding. The mechanism of mechanical bonding consists in the penetration of the applied substance into the pores of the outer layer or connection with a rough surface. With the chemical adhesion mechanism, the bond between materials, in particular those of different densities, occurs at the atomic level [15].

As can be seen from Table 1, gypsum plaster is characterized by higher adhesion compared to cement and cement-lime plaster, but the type of surface to be treated is not specified here. For ash-gypsum-cement compositions, there is no data on adhesion to limestone at all.

Purpose and objectives. The aim of this study is to evaluate the adhesion ability of the proposed compositions for plastering the walls of limestone-shell rock buildings and the possibility of increasing it, for which it is necessary to choose a method and device for measuring the adhesion strength, perform the necessary measurements and evaluate the effect of the adhesive additive on the adhesion strength between the plaster layer and the shell rock.

Research methods and materials. Measurements of the adhesion of the developed compositions to surfaces of different nature are carried out by the "tear-off method". The device for measuring adhesion (Fig. 1) developed at the PATBM Department of OSACEA.



Fig. 1. Device for measuring adhesion by the tear-off method (top view)

The test specimen is a system of a ring filled with a mixture connected to a base plate due to the adhesion of the mixture to the surface. The prototype is prepared as follows. A threaded cone ring is placed on a dust-free support surface of a plate made of the selected material and filled with the test mixture (Fig. 2). The samples are kept for 7 days. The principle of adhesion determination is to measure the force of detachment of the ring with the test mixture from the plate surface.

The test specimen is fixed in a collapsible cassette with a hole for the ring. The cassette is self-centering thanks to a ball joint with a bracket fixed through a load cell to the massive base of the device. The ring is connected to the movable pneumatic cylinder rod by a threaded coupling. The ring is detached from the surface when the rod moves under the action of compressed air from the pneumatic compressor. The loading speed is controlled by a valve. The result of the adhesion measurement is determined with an accuracy of 0.01 MPa by the built-in computing device as a fraction of the maximum tear-off force divided by the contact area (the area of the ring's inner hole in contact with the plate surface) and is recorded on the digital display of the device.

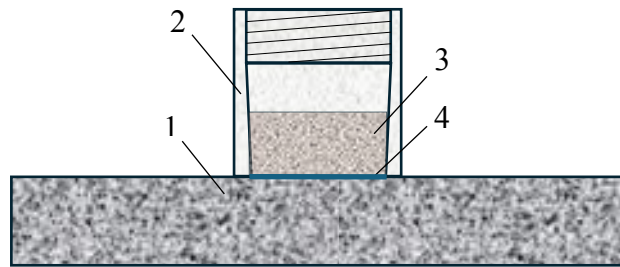


Fig. 2. Schematic of a specimen for testing the adhesive properties of a mixture:

1 – a plate made of real or model material; 2 – a metal conical ring with internal thread; 3 – the tested mixture; 4 – the zone of adhesive contact of the tested mixture with the supporting surface of the plate

The condition of the supporting surface has a significant impact on the adhesion measurement results. In previous measurements of the adhesion of repair mixtures to shell rock, a significant variation in results was observed depending on the quality of the surface (the presence of heterogeneities, cracks, cavities, etc.). Therefore, it was decided to use two types of surfaces: real – plates sawn from limestone blocks, and conditionally model – homogeneous surfaces of ceramic facing tiles, and to increase the number of measurements for samples of each composition (at least five). The surfaces of the shell rock plates were prepared according to the requirements [16, 17].

The investigated samples of ash and gypsum cement mixtures were made in accordance with the three-factor plan B_3 [18], which varied the type and amount of raw materials. After constructing and analyzing mathematical models of a set of properties, including strength, water resistance, and vapor permeability, the basic composition of the repair mixture for further experiments was determined: 60 parts of ground clinker cement and 40 parts of ash per 100 mass parts of G5 gypsum. The amount of water for the mix was selected according to the normal flow of the mixture.

Ceresit CC 81 was used as an adhesive additive, an additive designed for the preparation of manually or mechanized mixtures with enhanced adhesive properties [19]. To measure the adhesion, three batches of 5 samples were made: control without additives, with an adhesive additive in the amount of 3% by weight of dry components, and with an adhesive additive containing 10%.

Research results and their interpretation. The adhesion of the proposed additive-free composition to the surface of shell rock, averaged over five measurement results, is characterized by a tear-off force per unit contact surface of 0.25 MPa. The adhesion of the same composition to the surface of ceramic tiles is 0.30 MPa.

Qualitatively, the effectiveness of the adhesive additive, depending on its content, can be visually assessed by the traces of contact between the mixture and the tile surface (Fig. 3): at a 3 percent additive content, tearing occurs on the tile surface, and at 10 percent – on the mixture itself, which indicates that in this case the adhesive strength of the contact exceeds the cohesive strength of the mixture.



Fig. 3. Features of detachment of samples with different content of adhesive additive from the surface: a – 3%; b – 10%

When the Ceresit CC 81 adhesive additive was introduced into the mixture in an amount of 3%, the adhesion strength of the plaster mixture with the surface of shell rock increased by 1.3 times compared to the non-additive mixture, and when 10% of the additive was introduced, it increased by 2 times (Fig. 4).

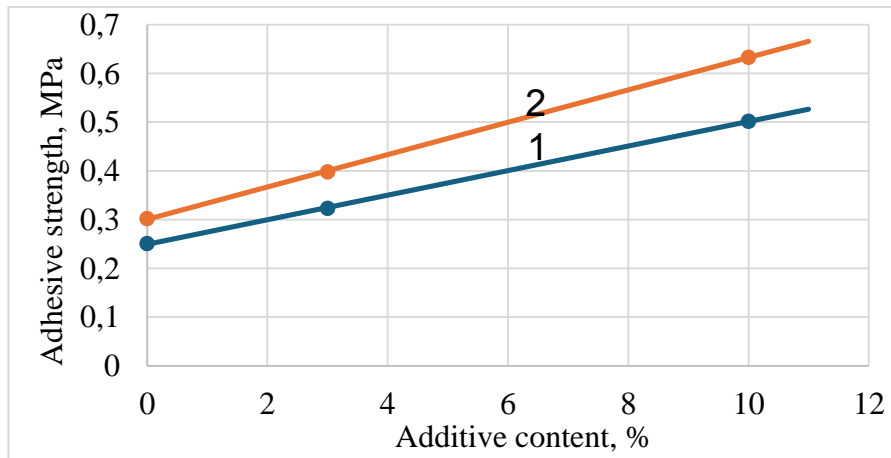


Fig. 4. Changes in the adhesion of the proposed plaster composition to shell rock (1) and ceramic surface (2) depending on the content of the adhesive additive in the mixture

The relative change in the adhesive strength of the contact between the mixture and the ceramic surface with the introduction of 3% of the additive was 1.3 times compared to the additive-free mixture, and with the introduction of 10% of the additive – 2.1 times, however, in absolute terms, the adhesion to tile is expectedly higher than that to shell rock under any conditions.

The graphs (Fig. 4) clearly show a proportional increase in adhesive strength, depending on the amount of additive to any surface, at least in the studied interval of 0 – 10%. The linear nature of the dependence makes it possible to extrapolate this trend to some area outside the experiment, but the selected interval for varying the amount of additive is already quite large, and further increasing the additive content in general construction mixtures is economically inexpedient.

Conclusions. Thus, it can be concluded that the use of the Ceresit CC 81 additive is effective in increasing the adhesion of the proposed plaster mixture to the main shell rock wall. Reasonable limits of the amount of adhesion additive to be introduced will be established based on the results of the planned experiment, in which, in addition to the specified additive, other chemical additives, in particular plasticizing and hydrophobizing additives, will be introduced into the mixture. These additives are known to be capable of increasing adhesion to a certain extent.

However, increasing adhesion is a separate task of the broader task of creating a plaster mixture with a given set of properties for the walls of limestone-shell rock buildings. At this stage of this task, all strength (including adhesion) characteristics of the composition should be ensured at the highest possible level in order to further bring them in line with the properties of the material of the main wall – limestone-shell rock by introducing inert fillers, for example, screening out shell rock sawing products, which will significantly reduce the cost of plaster mix for the repair of historic buildings.

References

- [1] Lelikzvena, "Material iz glubiny vekov – rakushechnik". [Online]. Available: <https://lelikzvena.livejournal.com/116186.html?ysclid=lv1873p6v6483215502> Accessed on: June 19, 2024.
- [2] A.V. Novskiy, V.A. Novskiy, Yu.F. Tugaenko, *Izvestnyak-rakushechnik. Issledovanie i ispol'zovanie v kachestve osnovaniya fundamentov*. Odessa: Astroprint, 2014.

- [3] O. Zdorov, "Kamin' – cherepashnik, vlastivosti i osoblivosti materialu". [Online]. Available: <https://pp-budpostach.com.ua/ua/a227390-kamin-cherepashnik-vlastivosti.html>. Accessed on: June 19, 2024.
- [4] V. Kersh, D. Levytskyi, S. Tyhoniuk, "Repair mixture for limestone-shell buildings", *Aktual'ni problemi energoresursozbezrehennya ta ekologii : mizhn. nauk.-tekhn. konf.* Odesa, ODABA, 2023, pp. 76-78.
- [5] Master, "Vidi, osoblivosti ta zastosuvannya shtukaturek u budivnitstvi". [Online]. Available: <https://remont.sumy.ua/types-of-plasters/> Accessed on: June 19, 2024.
- [6] N. Kondratieva, M. Barre, F. Goutenoire, M. Sanytsky, "Study of modified gypsum binder", *Construction and Building Materials*, vol. 149, pp. 535–542, 2017.
- [7] O.V. Kondrashchenko, "Gipsovi budivel'ni materialy pidvishchenoi micnosti i vodostijkosti (fiziko- himichni ta energetichni osnovi)": avtoref. dis. ...d-ra tekhn. nauk: 05.23.05. Harkiv: UkrDAZT, 2005.
- [8] A.S. Cfimenko, "Pidvishchennya vodostijkosti gipsovih materialiv polifracijnimi mineral'nimi dobavkami": dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.23.05. Harkiv: UkrDUZT, 2021.
- [9] P.V. Novosad, M.A. Sanytsky, O.R. Poznyak, "Pidvishchennya vodostijkosti gipsovih v'yazhuchih", *Visnik Nacional'nogo universitetu L'vivs'ka politehnika."Seriya: Teoriya i praktika budivnictva*, no. 888, pp. 111–116, 2018.
- [10] J. Li, G. Li, Y. Yu, "The influences of gypsum water-proofing additive on gypsum crystal growth", *Materials Letters*, no. 61, pp. 872-876, 2007.
- [11] V.N. Kavardakov, "Sposoby povysheniya prochnosti i vodostojkosti kompozicionnyh gipsovih smesej", *Aktual'nye issledovaniya*, no. 8, pp. 33-37, 2020.
- [12] M.I. Khaliullin, R.Z. Rakhimov, A.R. Gayfullin, "Composite gypsum binders of higher water resistance with an active mineral additive-claydite dust", *Non-Traditional Cement & Concrete IV Proceedings of the International Conference*. Brno, 2011, pp. 331-337.
- [13] V.Ya. Kersh, D.V. Levitskyi, S.A. Tihoniuk, "Remontna kompoziciya dlya stinovyh konstrukcij budivel' z cherepashniku", *Zbirnik tez dopovidej VI Vseukraïns'koï naukovo-praktichnoi internet-konferencii Rozvitok budivnictva ta zhitlovo-komunal'nogo gospodarstva v suchasni umovah."*Kiïv, 2023, pp.15-17.
- [14] V.Ya. Kersh, D.V. Levitskyi, S.A. Tihoniuk, "Doslidzhennya paroproniknosti shtukaturnogo skladu", *Zbirnik tez dopovidej 80-i naukovo-tekhnichnoi konferencii profesors'ko-vikladac'kogo skladu akademii*. Odesa, ODABA, 2024, p. 13.
- [15] M.D. Timochko, "Adgeziya: chto eto takoe, dlya chego nuzhna, kak eyo uluchshit". [Online]. Available: <https://vue.gov.ua/%D0%90%D0%B4%D0%B3%D0%B5%D0%B7%D1%96%D1%8F> Accessed on: July 17, 2024.
- [16] DSTU-N B A.3.1-23:2013. Nastanova shchodo provedennya robit z ulashtuvannya izolyacijnih, ozdobyval'nih, zahisnih pokrittiv stin, pidlog i pokrivel' budivel' i sporud. K.: Minregionbud Ukraïni, 2013.
- [17] DSTU-N B V.2.6-212:2016. Nastanova z vikonannya robit iz zastosuvannyam suhiv budivel'nih sumishej. K.: NDIBV, 2016.
- [18] V.A. Voznesenskij, T.V. Lyashenko, Ya.P. Ivanov, I.I. Nikolov, *EVM i optimizaciya kompozicionnyh materialov*. K.: Budivel'nik, 1989.
- [19] "Adgezijna dobavka Ceresit-SS-81". *Tekhnichnij opis*. [Online]. Available: <https://dm.henkel-dam.com/is/content/henkel/ceresit-cc-81-2021-new> Accessed on: July 17, 2024.

АДГЕЗІЙНА ЗДАТНІСТЬ ГПСОВМІСНИХ ШТУКАТУРНИХ СКЛАДІВ

¹Керш В.Я., к.т.н., професор,
kersh@odaba.edu.ua, ORCID: 0000-0001-6085-5260

¹Левицький Д.В., аспірант,
levin3893@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5350-522X

¹Тихонюк С.А., аспірант,
tihoniuk1984@gmail.com, ORCID: 0009-0009-9444-3905

¹Фощ А.В., к.т.н., доцент,
nikitkos@gmail.com, ORCID: 0000-0003-1299-1094

¹Одеська державна академія будівництва та архітектури
вул. Дідріхсона, 4, м. Одеса, 65029, Україна

Анотація. Традиційним матеріалом для будівництва будівель в Північному Причорномор'ї є дешевий місцевий камінь – вапняк-черепашник. Більшість будівель в центральній частині міста Одеси, які представляють історичну та архітектурну цінність, побудовані саме з цього матеріалу. При правильному догляді та обслуговуванні ці споруди здатні виконувати свої функції протягом сотень років, але в результаті зволоження черепашника через недбалу експлуатацію і ряду інших причин відбувається пошкодження несучих конструкцій з подальшим обваленням будівлі. У багатьох випадках безпосередньою причиною руйнування несучих стін є пошкодження, або відсутність, зовнішнього штукатурного шару. Ремонт стін цементними складами загострює проблему. У статті розглядаються деякі аспекти можливого застосування композиційних матеріалів на основі гіпсу для ремонту пошкоджених стін будівель з вапняку-черепашника. Сформульовано вимоги до ремонтного складу. Обґрунтовано доцільність використання гіпсу як в'язучої основи ремонтної штукатурної суміші для зовнішніх ремонтних робіт. Для підвищення водостійкості штукатурки використовувався золотіпсоцементний склад. Підтверджено достатню водостійкість і паропроникність запропонованого складу. У даній роботі наведено результати дослідження адгезійної міцності контакту розробленого складу з поверхнею різних матеріалів. Використовувалися методи та вимірювальне обладнання, розроблені в ОДАБА. Адгезійна міцність зчеплення запропонованої суміші з поверхнею черепашнику наближається до нормативної. Застосування адгезійної добавки Ceresit CC 81 підвищує адгезійну міцність з'єднання запропонованого складу з черепашником в 1,5 – 2 рази. Оптимальну кількість адгезійної добавки, що має вводиться, буде встановлено за результатами багатофакторного експерименту з вивчення впливу комплексу хімічних добавок різного функціонального призначення на властивості запропонованого ремонтного складу.

Ключові слова: вапняк-черепашник, штукатурний шар, золотіпсоцементна суміш, водостійкість, паропроникність, адгезія.

Стаття надійшла до редакції 21.08.2024

COMPUTATIONAL EXPERIMENTS WHEN STUDYING MATERIALS PROPERTIES INFLUENCED BY "MIXTURE" FACTORS

¹**Lyashenko T.V.**, D.Sc., Professor,
frabul16@gmail.com, ORCID: 0000-0002-6232-4866

¹**Antoniuk N.R.**, Ph.D., Associate Professor,
antonuk_nr@ukr.net, ORCID: 0000-0003-1730-0723

¹**Khlytsov N.V.**, PhD, Associate Professor,
khlytsov@ogasa.org.ua, ORCID: 0000-0003-3486-6833

¹**Bichev I.**, Ph.D., Associate Professor,
bichev@ukr.net, ORCID: 0000-0002-3000-2600

¹*Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture*
4, Didrichson str., Odessa, 65029, Ukraine

Abstract. Short information on computational materials science is given, with the methodology of material properties fields, in composition and process coordinates, as the part of it and as the background of the study presented in this paper. One of the main means of the methodology is random scanning the whole and local fields. These tools were developed and used to solve many problems in materials science related to the properties defined by mutually independent factors. The purpose of the study presented in this paper has been to develop the tool for random scanning the fields of properties effected by "mixtures" of q components, linearly related portions of components in rangers from 0 to 1, with their sum equal to 1. In these cases, the factors domain (or subregion of it) presents the simplex. The special designs of experiments to get reduced polynomials describing the fields in simplex coordinates are used. Two procedures for generating any number of uniformly distributed points on the simplex have been developed. These points define the virtual mixtures simulated in computational experiments. The procedures were tested by scanning the fields of two rheological characteristics of lime suspension filled with "short", "medium", and "long" cellulose fibers. Experimental-statistical models in the form of reduced polynomials for effective viscosity at shear rate equal to 1 s^{-1} and for the rate of destruction of liquid structure (parameters of power-law model of flow, $K = \eta_1$ and m) obtained in previous study are used to determine the levels of these characteristic for each of simulated mixture. Computational experiments were carried out, in which the fields of η_1 and m in whole simplex domain and in some of its zones were scanned, allowing the generalizing indices of the fields and different correlations between η_1 and m in different zones of mixture triangle to be estimated.

The developed tools, the procedures of generating random points, which would define the simulated compositions of the "mixtures", make significant contribution to the progress of the methodology of recipe-technological fields of properties and to computational materials science.

Keywords: design of experiment, simplex domain, experimental-statistical model, effective viscosity, rate of destruction, lime suspension, cellulose fiber.

Introduction. In 1992 the first issue of the international journal "Computational Materials Science" (CMS) was published [1]. That year has been proposed (Voznesensky V.A., 1993) to be considered the year of the birth of this direction of science. The aim of CMS and the journal declared at the title page of the first issue has been "to enhance the communication between experimental materials research and computational work on both existing and new, advanced materials and their applications". Since then the scope of the journal expanded quite a lot [2].

Analysis of recent research and publications. The methodology of composition-process fields (recipe-technological fields, [3, 4]) was put forward as the component of computational materials science. The field $Y(\mathbf{x})$ of material property (any characteristic of material structure, any criterion of its quality, even its cost) presents the values of Y in coordinates of material composition and

parameters of production and exploitation processes, vector of CP-factors $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_k)$.

Random scanning the fields has become one of the main instruments of the methodology [3, 4, etc.]. It was developed for domain of normalised factors (1):

$$-1 \leq x_i \leq 1. \quad (1)$$

Random scanning the whole or local fields means: generating uniformly distributed points in factor domain or its subregions (compositions and process factors values corresponding to the points); calculating the levels of $Y(\mathbf{x})$ by its model. In most cases multifactor polynomial experimental-statistical models (ES-models, [5]) are used.

When studying multicomponent disperse systems, the building composites among them, the system of factors under study or some of them (factor subsystem) can present the "mixture". This is when the portions (from 0 to 1) of the components forming the mixture (1 in a sum) should be considered as the factors. It can be the mixture of fractions of the grains of several size or different minerals, or the portions of the components in complex chemical admixtures, etc.

"Mixture" (\mathbf{M}) is the system (subsystem) of linearly related factors v_i , the portions of the components forming the mixture (2). M_q is the mixture of q components.

$$0 \leq v_i \leq 1, \quad \sum v_i = 1, \quad \mathbf{v} = (v_1, v_2, \dots, v_i, \dots, v_q) \in \Omega_v. \quad (2)$$

The domain Ω_v of factor space is $(q-1)$ -dimensional simplex (segment, triangle, tetrahedron ...). In these cases of linearly related factors the special kinds of polynomials are used as the models of the fields $Y(\mathbf{x})$, basing on corresponding experiment designs [6-12].

To carry out the scanning of property fields in such domains one should have the means to get uniformly distributed points in them.

So **the aim of the study** presented in this paper has been to develop the procedure of generating the random points on the simplex and to test it solving some specific material science problem.

The methods include the following.

The generating of random numbers is carried out with the help of Excel analysis package. In Excel all calculations are carried out. Other means (including specially designed) can be also used.

To test the procedure in practice the results of previous research [13] are applied, in particular, the models for two parameters of Ostwald-de-Waele rheological equation [14], power law model written here in logarithmic form (3). The coefficient K in (3) is equal to the effective viscosity η_1 (Pa·s) at shear rate $\gamma' = 1 \text{ s}^{-1}$, and the exponent $m < 0$ characterizes the rate of destruction of fluid structure during shear deformations – the higher $|m|$, the less stable is the fluid structure during flow.

$$\ln \eta(\mathbf{x}) = \ln K(\mathbf{x}) + m(\mathbf{x}) \cdot \ln \gamma'. \quad (3)$$

Among the dozens of the models of non-Newtonian fluid flow [15] the power law model, the good one for engineering applications in certain ranges of shear rate, is commonly used.

It should be underlined that the parameters in (3) are not the constants, of specific non-Newtonian fluid, of certain composition, as they are commonly considered, but the functions of composition factors. Effective viscosity can be estimated by such model for any composition at any shear rate in the ranges under study, as it was done, in particular, in [3, 16, 17]. The model (3) illustrates the possibility and usefulness of combining the models of different levels [3], for instance, ES- model and structural simulation models [18, 19].

Viscosity curves and models of type (3) in the range of γ' between 0.066 and 8.41 c^{-1} were obtained (adequate with error not more than 5%) when studying [13] lime suspension filled with Technocel® cellulose fibers of three lengths. The rotational rheometer "Polimer" RPE-1M was used to get the curves.

The portions of fibers of three lengths were varied in the experiment: v_1 – mass fraction of "short" fibers, with nominal length of 200 μm ; v_2 – fraction of "medium" length fibers, 1000 μm ; v_3 – fraction of "long" fibers, 2500 μm . They present the mixture (4) of 3 fractions ($q = 3$).

$$0 \leq v_i \leq 1, \quad \sum v_i = 1, \quad \mathbf{v} = (v_1, v_2, v_3). \quad (4)$$

The amount of fibers introduced into the suspension remained constant – 0.9 parts by mass per 100 parts of lime, at water-lime ratio equal to 1.

The experiment was carried out according to simplex-lattice design of incomplete 3rd degree [7], the points being the same as in non-saturated simplex-centroid design of the 2nd order [8]. The points of the design are given in Table 1.

Table 1 – Compositions of 7 mixtures according experiment design

Points	1	2	3	4	5	6	7
v_1	1	0	0	0.5	0	0.5	0.333
v_2	0	1	0	0.5	0.5	0	0.333
v_3	0	0	1	0	0.5	0.5	0.333

The data obtained in the designed natural experiment have allowed the models (5) and (6) of the kind (7) to be got, for $\ln\eta_1$ and $|m|$ (the effects insignificant at 10% risk have been eliminated). The isolines of these two rheological parameters are shown in Fig. 1.

$$\begin{aligned} \ln K = \ln \eta_1 = & 2.978v_1 - 0.533v_1v_2 - 1.489v_1v_3 \pm 0 v_1v_2v_3 \\ & + 2.593v_2 - 0.223v_2v_3 \\ & + 2.761v_3 \end{aligned} \tag{5}$$

$$\begin{aligned} |m| = & 0.951v_1 \pm 0 v_1v_2 + 0.158v_1v_3 + 0.867 v_1v_2v_3 \\ & + 1.025v_2 - 0.158v_2v_3 \\ & + 0.892v_3 \end{aligned} \tag{6}$$

$$\begin{aligned} Y = & A_1v_1 + A_{12} v_1v_2 + A_{13}v_1v_3 + A_{123} v_1v_2v_3 \\ & + A_2v_2 - A_{23}v_2v_3 \\ & + A_3v_3 \end{aligned} \tag{7}$$

These are the models used in computational experiments, to illustrate statistical trials on simplex with application of procedures presented below.

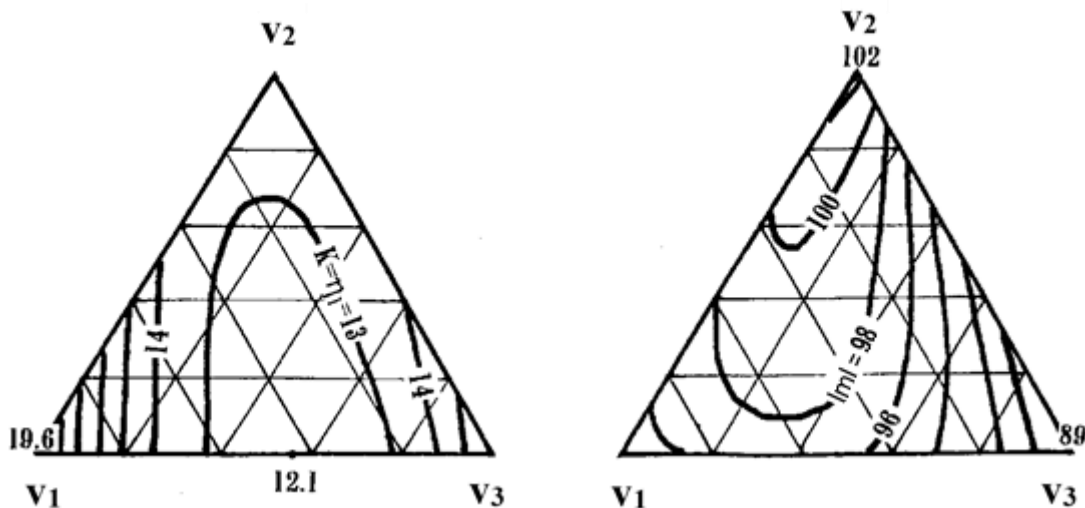


Fig. 1. Isolines of effective viscosity η_1 (Pa·s) and of destruction rate $|m| \cdot 10^2$ on mixture triangles

The **results** include the following.

Firstly, the *procedures of generating random points (mixtures) in simplex domain* themselves.

Any number of random values ξ_i for q variables ($i = 1 \dots q$) uniformly distributed inside (0, 1) limits are generated.

The transformations of generated ξ_i to v_i that would provide (2), $\sum v_i = 1$, have been put forward.

1. The simplest one (8):

$$v_i = \xi_i / \sum_{i=1}^q \xi_i \tag{8}$$

2. Another one (9):

$$v_i = a_i + \xi_i \cdot d_i \cdot d / S, \text{ if } S \geq d, \tag{9}$$

$$v_i = a_i + \xi_i \cdot d_i + (d-S) \cdot d_i \cdot (1-\xi_i) / (\sum d_i - S), \text{ if } S < d,$$

where $i = 1, \dots, q$; a_i, b_i – lower and upper borders of the range of v_i ;

$$d_i = b_i - a_i; d = 1 - \sum a_i; S = \sum \xi_i \cdot d_i.$$

One hundred of the points obtained using formular (8) are shown in Fig. 2.

The points at the vertices of the triangle are added since their coordinates cannot be generated principally (as any fixed exact values).

Secondly, *usage of the developed procedures* for scanning the fields of rheological characteristics of the suspension filled with fibers.

Some results of one realization of scanning the field $\eta_1(v_1, v_2, v_3)$ are shown in Fig. 3. The levels of the field at each point shown in Fig. 2 were determined by model (5). The

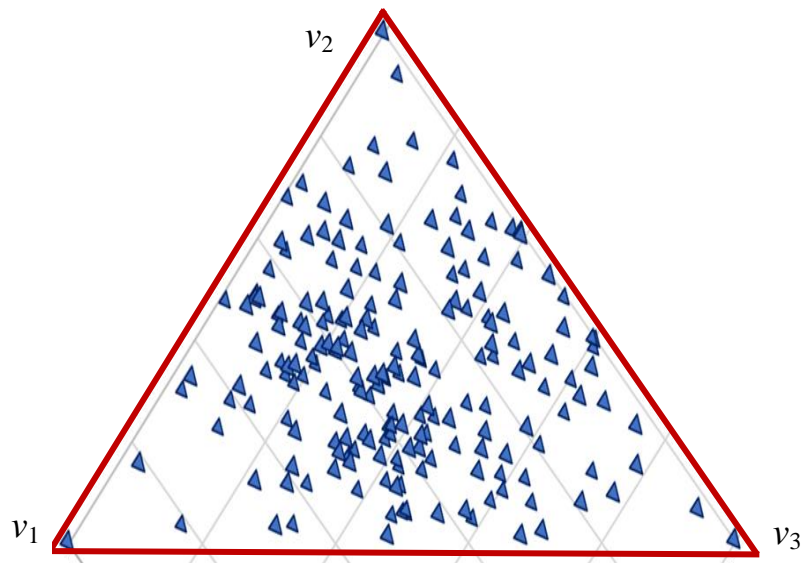


Fig. 2. The hundred random points inside the simplex and 3 fixed points at its vertices

error of the model was not accounted for, but multiple realization of scanning, with multiply generated distribution of points (mixtures), showed the convergence of results to the field determinate by model (5).

Not only can the main generalizing indices $G\{v_1, v_2, v_3\}$ of the field $\eta_1(v_1, v_2, v_3)$, such as minimal and maximal levels and their coordinates, be determined after sorting the mixtures by the values of Y (η_1 in this case) but the other valuable numerical characteristics too. The important one among them, the "size" of the region of acceptable mixtures, the ratio (Ω) of the number of compositions that would comply with specified levels of Y (set by a customer or some standard, or by an idea of researcher) to the quantity of all compositions under consideration [3, 4, 20]. The estimates of this and other G can be seen in Fig. 3.

Analysis of correlation of η_1 with $|m|$ in various subregions of mixture factors domain can be carried out using the developed procedures.

The scatter diagram of the values of two rheological characteristics determined for 7 mixtures in natural experiment shows the absence of correlation, as the diagram presenting the generated sample of 103 paired values also does (Fig. 4).

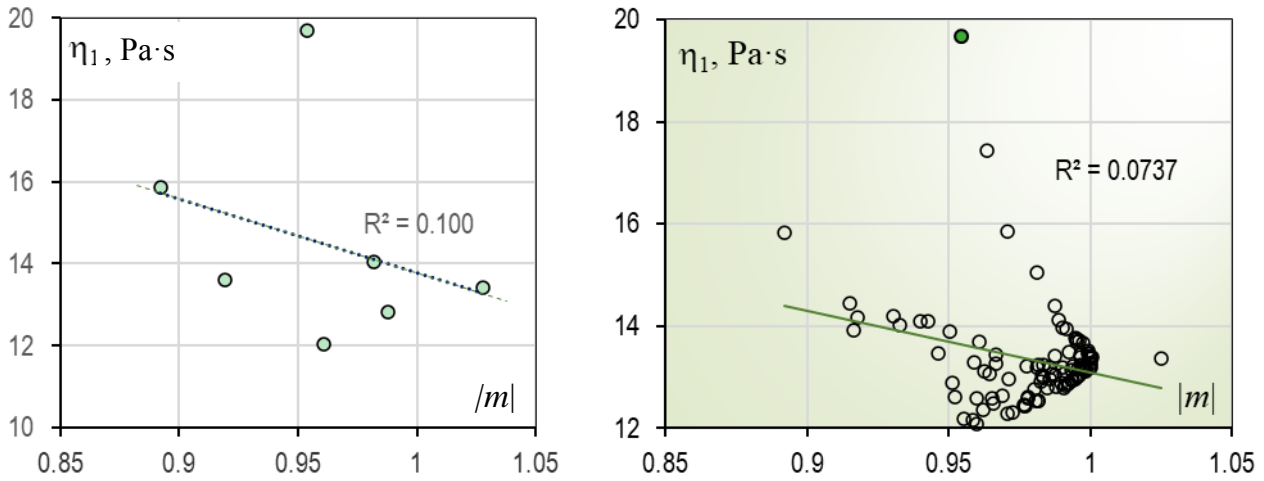


Fig. 4. Scatter diagrams of the values of η_1 and $|m|$ obtained in natural experiment (7 compositions) and in computational experiment (103 compositions) over the whole domain of mixtures under study

It would be reasonable to assume a significant difference in the structures of suspensions with fibers of different lengths and with their mixtures, and, consequently, a different relationship between viscosity and the rate of destruction of the structure.

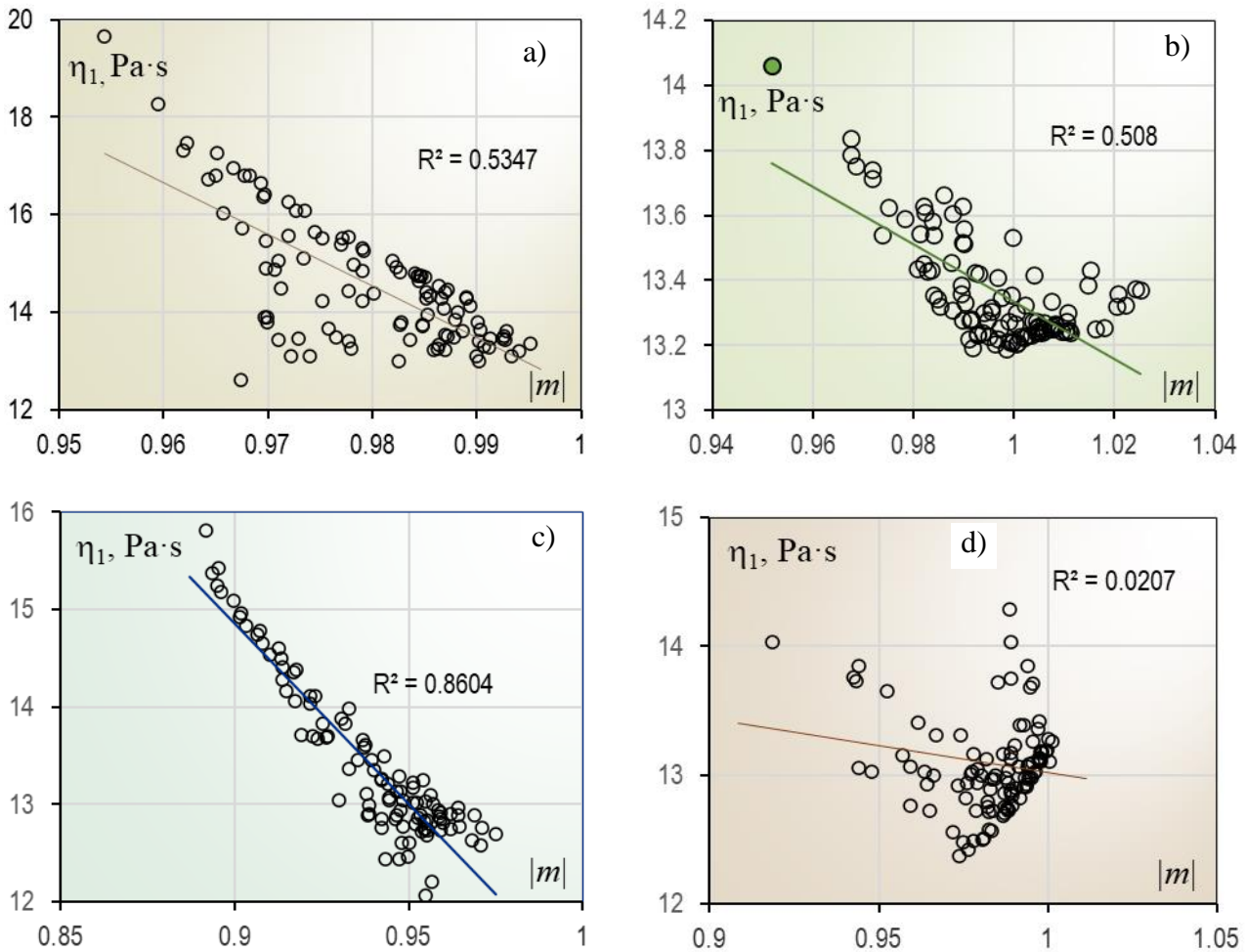


Fig. 5. Scatter diagrams obtained in computational experiments: a – in zone of mostly "short" fibre; b – in zone of mostly "medium" fibre; c – in zone close to vertex v_3 (of "long" fibre); d – inside the triangle

The computational experiments in various zones of mixture triangle have been carried out to estimate the correlation of η_1 with $|m|$, both developed procedures (8, 9) of generating linearly related mixture factors being tried. Some results are presented in Fig. 5.

The levels of $|m|$ and η_1 were estimated, in particular, at the following limits of factors values:

- $0.6 \leq v_1 \leq 1, 0 \leq v_2 \leq 0.4, 0 \leq v_3 \leq 0.4$ (Fig. 5, a);
- $0 \leq v_1 \leq 0.3, 0.7 \leq v_2 \leq 1, 0 \leq v_3 \leq 0.3$ (Fig. 5, b);
- $0 \leq v_1 \leq 0.4, 0 \leq v_2 \leq 0.4, 0.6 \leq v_3 \leq 1$ (Fig. 5, c);
- $0.1 \leq v_1 \leq 0.8, 0.1 \leq v_2 \leq 0.8, 0.1 \leq v_3 \leq 0.8$ (Fig. 5, d).

The results could be more impressive in case of wider ranges of the properties under study. Nevertheless, the revealed differences in correlation indicate to the changes in mechanisms of structure formation with changes in specific disperse phase. The changes in mechanisms should be, probably analysed from physical-chemical mechanics point of view [21].

Other tasks and problems of materials science when the mixtures (2) are involved could be solved now, with the help of the developed procedures, as the problems had been solved [3, 20, 22-24], using random scanning the fields in normalized coordinates (1). The "involved mixtures" means that it could be the system of both mutually independent and linearly related factors, and even with two mixtures [3, 12].

The search for the best solution by some criteria of optimality, at any number of specified restrictions and the problems of multicriterial compromise optimization [3, 20, 23, 24], computational experiments for isoparametric analysis [3, 22] and for analysis of the changing generalizing indices of properties fields [3, 12], other tasks that need random scanning the fields of properties can be also fulfilled when whole factor domain or part of it presents q -component simplex.

Conclusions. The new tools have been developed that makes significant contribution to the development of the methodology of recipe-technological fields of properties and to computational materials science. These are the procedures of generating uniformly distributed random points in simplex domain, which define the simulated compositions of the "mixtures".

The procedures have been applied in study of rheological characteristics of lime suspension filled with the mixture of cellulose fibre of three lengths. The way to estimate the generalizing indices of the fields of material properties has been shown. The computational experiments have been carried out in different subregions of mixture triangle to evaluate the correlation of effective viscosity of the suspension with the rate of its structure destruction under certain shear rate. The differing correlation from zone to zone has been revealed.

The developed tools open up new opportunities for studying the variety of the "mixtures, technologies" systems with means of computational materials science.

References

- [1] U. Landman, R. Nieminen, "Editorial", *Computational Materials Science*, vol. 1, no. 1, 1992.
- [2] Computational Materials Science. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/journal/computational-materials-science/about/aims-and-scope> Accessed on: June 19, 2024.
- [3] T.V. Lyashenko, V.A. Voznesensky, *Metodologiya recepturno-tehnologicheskikh polej v kompyuternom stroitelnom materialovedenii*. Astroprint, Odessa 2017. [Online]. Available: <https://drive.google.com/file/d/1FCCYDYRe5jC10N3l6Wzwf1T4IgladhQF/view>.
- [4] T. Lyashenko, "Composition-process fields methodology for design of composites structure and properties", *Int. Symp. Brittle matrix composites 11*, Warsaw, Insitute of Fundamental Technological Research PAS, pp. 289-298, 2015.
- [5] T.V. Lyashenko, V.A. Voznesensky, "Experimental-statistical modeling in computational materials science", *3rd Int. Applied Statistics in Industry Conf.*, Dallas, ACG Press., pp. 287-298, 1995.

- [6] D.C. Montgomery, *Design and Analysis of Experiments*, 10th ed. John Wiley & Sons, 2019.
- [7] H. Sheffe, "Experiments with mixtures", *J. Roy. Statist. Soc., B*, 20 (2), pp. 344-360, 1958.
- [8] H. Sheffe, "Simplex-centroid design for experiments with mixtures", *J. Roy. Statist. Soc., B*, 25(2), pp. 235-263, 1963.
- [9] R. Snee, "Experimental Designs for Quadratic Models in Constrained Mixture Spaces", *Technometrics*, 17(2), pp. 149-159, 1975.
- [10] I. Vuchkov, H. Jonchev, *Planirane i analiz na eksperimenta pri izsledvane na svojstvata na smesi i splavi*. Sofia: Tekhnika, 1979.
- [11] J.A. Cornell, *Experiments with Mixtures: Designs, Models, and the Analysis of Mixture Data*, 3rd ed. Wiley, 2002.
- [12] T.V. Lyashenko, "Structured systems of factors and experimental-statistical models in studies of building composites", *Mechanics and Mathematical Methods*, no. 3 (1), pp. 47-61, 2021.
- [13] T.V. Lyashenko, V.A. Voznesensky, N.R. Antoniuk, E.K. Karapuzov, "Modelirovanie i analiz reologicheskikh pokazatelej sistemy` «izvest` – voda – czellyulozny`e volokna»", *Vi`snik Donbas*, vol. 2002-1(32), pp. 93-98, 2002.
- [14] G. Shram, *A practical approach to Rheology and Rheometry*. 2nd ed., Thermo Electron, 2004.
- [15] H.A. Barnes, *A Handbook of Elementary Rheology*. University of Wales, Institute of Non-Newtonian Fluid Mechanics, 2000.
- [16] T. Lyashenko, S. Kryukovskaya, "Modelling the influence of composition on rheological parameters and mechanical properties of fibre reinforced polymer-cement mortars", *Int. Symp. Brittle matrix composites 10*, Warsaw, Woodhead Publ. Ltd. (Cambridge) – IFTR 177-186, 2012.
- [17] K. Moskalova, T. Lyashenko, A. Aniskin, "Modelling the Relations of Rheological Characteristics with Composition of Plaster Mortar", *Materials*, 15(1):371, 2022.
- [18] P.G. Komokhov, A.M. Kharitonov, "Mnogourovnevoe predstavlenie struktury` czementnogo kamnya s poziczij komp`yuternogo modelirovaniya", *Komp`yuternoe materialovedenie i progressivny`e tekhnologii: mezhdunarod. seminar MOK'47*, Odessa, Astroprint, 26-29, 2008
- [19] P. Stroeven, H. He, L.B.N. Le, K. Li, "Modeling possibilities of concrete structure for durability purposes", *Modelirovanie i optimizacziya kompozitov*, Odessa, Astroprint, pp. 60-63, 2014.
- [20] T.V. Lyashenko, N.R. Antoniuk, "Multicriterial search for rational solutions when developing building composites", *Bulletin of Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture*, vol. 79, pp. 99-108, 2020.
- [21] E. Shchukin, A. Zelenev, *Physical-Chemical Mechanics of Disperse Systems and Materials*. CRC Press, 2016.
- [22] T.V. Lyashenko, A.D. Dovgan, "Isoparametric analysis when studying composite materials", *Bulletin of Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture*, vol. 66, pp. 72-78, 2017.
- [23] T. Lyashenko, A. Dovgan, P. Dovgan, "Glass fibre reinforced decorative composite: components influence and multicriterial optimisation", *Brittle Matrix Composites 12*, Warsaw, Institute of Fundamental Technological Research, pp. 107-116, 2019.
- [24] K. Moskalova, T. Lyashenko, A. Aniskin, M. Orešković, "Modelling the Influence of Composition on the Properties of Lightweight Plaster Mortar and Multicriteria Optimisation", *Materials*, 16(7):2846, 2023. <https://doi.org/10.3390/ma16072846>.

ОБЧИСЛЮВАЛЬНІ ЕКСПЕРИМЕНТИ ПРИ ВИВЧЕННІ ВЛАСТИВОСТЕЙ
МАТЕРІАЛІВ ПІД ВПЛИВОМ ФАКТОРІВ «СУМІШІ»

¹Ляшенко Т.В., д.т.н., професор,
frabul16@gmail.com, ORCID: 0000-0002-6232-4866

¹Антонюк Н.Р., к.т.н., доцент,
antonuk_nr@ukr.net, ORCID: 0000-0003-1730-0723

¹Хлицов М.В., к.т.н., доцент,
khlytsov@ogasa.org.ua, ORCID: 0000-0003-3486-6833

¹Бічев І.К., к.т.н., доцент,
bichev@ukr.net, ORCID: 0000-0002-3000-2600

¹Одеська державна академія будівництва та архітектури
вул. Дідріхсона, 4, м. Одеса, 65029, Україна

Анотація. Наводиться коротка інформація про комп'ютерне матеріалознавство та про методологію рецептурно-технологічних полів властивостей як його складової. Це передумови дослідження, представленого у цій статті. Один із основних засобів методології полів властивостей – випадкове сканування повних і локальних полів. Цей інструментарій було розроблено та використано під час вирішення багатьох завдань матеріалознавства, коли властивості визначалися дією взаємо-незалежних чинників. Мета представленого дослідження – розробити інструмент для випадкового сканування полів властивостей, що визначаються «сумішами» компонентів q , лінійно пов'язаними їх частками в діапазонах від 0 до 1; сума q часткою дорівнює 1. У цих випадках факторна область (або її підобласть) є симплексом. Використовуються спеціальні плани експериментів, щоб отримати спеціальні наведені поліноми, що описують поля у симплексних координатах. Розроблено дві процедури для генерування будь-якого числа рівномірно розподілених точок на симплексі. Їм відповідають «суміші» у обчислювальних експериментах. Процедури були випробувані при скануванні полів двох реологічних характеристик вапняної суспензії, наповненої короткими, середніми і довгими целюлозними волокнами. Експериментально-статистичні моделі, у вигляді наведених поліномів, для ефективної в'язкості при швидкості зсуву 1 c^{-1} та темпу руйнування структури рідини (параметрів степеневі моделі течії, $K = \eta_1$ та m), отримані в попередньому дослідженні, дозволяють визначити рівні цих характеристик для кожної симульованої суміші. Виконані обчислювальні експерименти, в яких проскановані поля η_1 та m у всій симплексній області та в деяких її зонах, дозволяючи оцінити узагальнюючі показники полів та різну кореляцію η_1 та m у різних зонах сумішевого трикутника.

Розроблені засоби, процедури генерації випадкових точок, які симулюють склади «сумішей», роблять значний внесок у розвиток методології рецептурно-технологічних полів властивостей та в комп'ютерне матеріалознавство.

Ключові слова: план експерименту, симплексна область, експериментально-статистична модель, ефективна в'язкість, швидкість деструкції, вапняна суспензія, целюлозне волокно.

Стаття надійшла до редакції 25.07.2024

РОЛЬ $CaCO_3$ У ФОРМУВАННІ МІЦНІСНИХ І ДЕКОРАТИВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОРОШКОВОГО ЛУЖНО-АКТИВОВАНОГО ШЛАКОПОРТЛАНДЦЕМЕНТНОГО БЕТОНУ

¹Разсамакін А.В., аспірант,
razsamakin.a@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5130-6059

¹Гоц В.І., д.т.н., професор,
knubatbkv@ukr.net, ORCID: 0000-0001-7702-1609

¹Руденко І.І., д.т.н., професор,
igor.i.rudenko@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5716-8259

¹Гелевера О.Г., к.т.н., доцент,
a-gelevera@ukr.net, ORCID: 0000-0002-6285-9780

¹Київський національний університет будівництва та архітектури
пр. Повітрофлотський, 31, м. Київ, 03037, Україна

Анотація. У статті розглянуто підходи до формування складів лужно-активованих декоративних шлакопортландцементів для порошкового бетону з вмістом в них портландцементу типу ПЦІ 5...45% з високими експлуатаційними і декоративними властивостями. Була виконана оптимізація складів декоративних лужно-активованих шлакопортландцементів з використанням статистичних методів планування експериментів. В якості відбілюючих і структуроутворюючих компонентів були використані тонкодисперсні добавки TiO_2 і $CaCO_3$ з білизою $\geq 90\%$. В якості лужного компоненту – метасилікат натрію у вигляді негіроскопічного порошку. Виконані дослідження дозволили отримати декоративні шлакопортландцементи з білизою 45...77%, що дозволяє використовувати їх для отримання кольорових цементів з широким спектром кольорів – від білого до чорного. Встановлено, що лужно-активовані декоративні шлакопортландцементи мають у віці 28 діб активність 37...59 МПа. Усі склади мають хорошу динаміку твердіння і, виходячи з міцності у віці 2 діб – 22...36,6 МПа, їх можна віднести до швидкотверднучих. На їх основі можна виготовляти сухі будівельні суміші. Усі склади розчинів на основі лужно-активованих декоративних шлакопортландцементів демонструють достатньо високу морозостійкість – F200. Це дозволяє використовувати їх для виготовлення виробів і розчинів як для експлуатації у приміщеннях, так і при дії атмосферних впливів без втрати проектних характеристик і декоративної привабливості. Власні деформації усадки декоративних лужно-активованих шлакопортландцементів складають 0,51...0,61 мм/м, що виключає тріщиноутворення і передчасне руйнування виробів. Особливо ефективно для управління власними деформаціями усадки використання добавки $CaCO_3$. Таким чином, добавка $CaCO_3$ виконує функції не тільки декоративного, але й структуроутворюючого компоненту. Бетонні та розчинні суміші можуть бути використані для виробництва декоративних та інших виробів традиційним способом, способом екструзії, 3D-друком на будівельних принтерах тощо. А не надто довгі строки тужавлення і швидкий набір міцності дозволяють виготовляти вироби без тепловологої обробки або з мінімальними витратами теплової енергії.

Ключові слова: лужно-активовані декоративні шлакопортландцементи, білизна, міцність, деформативність, експериментально-математичні моделі.

Вступ. Розвиток промисловості та політика безпеки вимагають нових будівельних матеріалів. Зокрема це відноситься і до декоративних цементів. Попит на них і вимоги до їх експлуатаційних характеристик постійно зростають [1]. Декоративні цементі, як правило, виготовляються на основі білих портландцементі [2]. Однак такі цементі мають усі недоліки традиційного портландцементу – низьку екологічність та високу енергоємність. Вони, також,

не завжди здатні забезпечити отримання декоративних екологічних і комфортних покриттів з підвищеними експлуатаційними показниками [3]. Крім того, далеко не завжди вимагається висока ступінь білості цементів ($\geq 68\%$), на основі яких виготовляються кольорові цементи. Так, згідно до вимог [4] допускається для декоративних цементів жовто-червоної гама та коричневого кольору застосовувати цемент з білизною не менше 40%, а для чорного – до 40%. Тому ефективною альтернативою традиційним цементам може бути декоративний лужно-активованій шлакопортландцемент з мінімальним вмістом клінкерної складової. Він також дозволяє забезпечити ряд спеціальних властивостей – широкий діапазон і стабільність кольорів, високу міцність, високу адгезію, довговічність та ін. [5-9].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Існує думка [10], що використання компонентів лужно-активованих цементів, які утворюють високолужне середовище (зокрема метасилікату натрію), може негативно позначитись на декоративних і експлуатаційних властивостях цих цементів. Допускалось, що висока присутність оксидів заліза та марганцю здатна суттєво погіршувати білизну декоративних цементів. У літературі [10] це пов'язується з утворенням сполук типу $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ і це було причиною для побоювань щодо можливості отримання на їх основі білих декоративних цементів. Достатньо високий вміст клінкеру у шлакопортландцементів також викликає сумніви відносно можливості їх відбілювання. Вказувалось [11] на можливість висолоутворення, яке виникає за рахунок масопереносу на поверхню бетону лужної солі з її послідуною карбонізацією. Підвищена кількість гелеподібних фаз, що утворюються в лужно-активованих цементах, може викликати підвищені деформації усадки [12, 13]. У виконаних раніше дослідженнях у цьому напрямку [14-16] була недостатньо приділено уваги цим питанням. Крім того, питання використання шлакопортландцементів у якості лужно-активованих декоративних взагалі не розглядалось.

Метою роботи є розробка засобів отримання цементів з високими декоративними і експлуатаційними властивостями на основі шлакопортландцементу, активованого високоактивним лужним компонентом – метасилікатом натрію. У роботі представлені результати досліджень по отриманню декоративних лужно-активованих шлакопортландцементів з вмістом в них портландцементу типу ПЦІ від 5 до 55%. Напрямок досліджень є актуальним і з елементами новизни.

Матеріали та методики досліджень. Як алюмосилікатні компоненти цементу були використані тонкомелені доменний гранульований шлак та портландцемент типу ПЦІ з питомою поверхнею 4000...4100 cm^2/g (за Блейном). Характеристики шлаку та портландцементу представлені у табл. 1 та табл. 2.

Таблиця 1 – Характеристика шлаку, використаного у дослідженнях

Вміст оксидів, % мас.							в.п.п., %	M ₀
SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	FeO	SO ₃	Na ₂ O		
32,13	11,48	50,27	1,14	0,4	1,8	0,77	1,30	1,18

Таблиця 2 – Хіміко-мінералогічний склад портландцементного клінкеру цементу ПЦІ

Вміст оксидів, % мас.							в.п.п., %	Вміст мінералів, % мас.			
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	R ₂ O		C ₃ S	β-C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
21,0	5,6	4,8	65,0	2,5	0,7	0,15	0,25	58,0	19,0	7,25	15,5

В якості лужного компоненту – метасилікат натрію пентагідрат ($Na_2O \cdot SiO_2 \cdot 5H_2O$) у вигляді негігроскопічного порошку.

В якості відбілюючих та структуроутворюючих добавок використовували діоксид титану (TiO_2 – рутил) і карбонат кальцію ($CaCO_3$) у порошкоподібній формі з білістю 90%.

Приготування тіста та цементно-піщаних розчинів здійснювали у стандартному змішувачі типу Хобарт. Як дрібний заповнювач у цементно-піщаних розчинах використовували стандартний пісок Гусарівського родовища.

Міцність цементів визначали відповідно до EN 196-1 на зразках-балочках складу 1:3 (цемент : пісок) розміром 4×4×16 см. Відношення об'єму розчинного силікату до маси цементу (далі Р/Ц) при приготуванні цементно-піщаних розчинів підбирали експериментально, щоб величина діаметру розпливу, виміряна на стандартному струшуючому столику, становила 106...115 мм.

Умови затвердіння зразків для визначення міцності були наступними: після виготовлення та до 2 діб – відносна вологість $\phi = 95...100\%$, $t = 20 \pm 2^\circ\text{C}$. А після 2 діб і до моменту випробувань зразки витримувалися у воді.

Усадка визначалась згідно методики, викладеної в [17].

Для оптимізації складів лужно-активованих декоративних цементів, зручності обробки отриманих даних та створення математичної моделі експерименту у вигляді рівнянь регресії було задіяне математичне планування з використанням повнофакторних експериментів, які традиційно добре зарекомендувало себе у наукових дослідженнях [18]. В якості фактора X1 виступали витрати відбілювачів TiO_2 (0%–4%–8%) і $CaCO_3$ (0%–12%–24%). В якості фактора X2 – вміст метасилікату натрію (8%–10%–12%) і в якості фактора X3 – вміст шлаку у шлако-цементній суміші (45%–70%–95%).

Як добавка, що зменшує ризик появи висолів, і водоутримуюча добавка, використовувався натрій карбоксиметилцелюлоза у кількості 0,5%. Висолоутворення визначалось відповідно до [19] (Додаток Г).

Морозостійкість визначалась згідно [20]. Був використаний другий базовий метод із заморожуванням зразків при -20°C в 5% розчині $NaCl$.

Склад і білизна вихідних сухих в'язучих композицій представлені у табл. 3 і на рис. 1.

Таблиця 3 – Білизна вихідних в'язучих матеріалів без лужного компонента

№ з/п	Склад сухого в'язучого без лужного компонента, % мас.				Білизна, %
	портландцемент ПЦІ	шлак	TiO_2	$CaCO_3$	
1	100	–	–	–	63
2	–	100	–	–	76
3	50	50	–	–	69
4	25	75	–	–	74
5	22,5	66,6	9,9	–	75
6	45	45	10	–	70
7	17,5	52,5	–	30	72
8	30	30	–	40	73

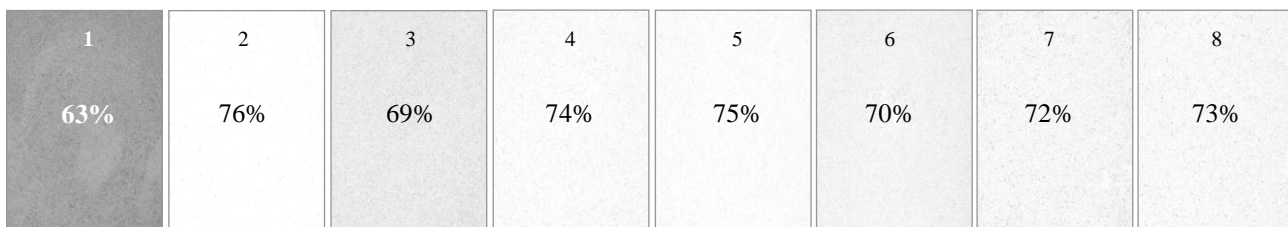


Рис. 1. Білизна вихідних сухих в'язучих композицій без лужного компонента

Визначення білизні зразків виконувалось за допомогою спектрофотометра NS810 з діапазоном довжин хвиль 400...700 нм. Для порівняння використовувався зразок Ral 9016 зі ступенем білизні $L = 98,85$.

Результати досліджень. Були виконані дослідження впливу відбілюючих добавок на ступінь білизні композицій та їх фізико-механічні властивості з використанням повного факторного експерименту типу ПФЕ-3³ з функціями відгуку у вигляді білизні, строків

початку тужавлення і міцності на стиск. Фактори, межі їх варіювання та матриці експерименту з функціями відгуку представлені у табл. 4 ... табл. 6.

Таблиця 4 – Вихідні дані

№ з/п	Фактори	Одиниці виміру	Коди	Рівні варіювання факторів		
				-1	0	+1
1	Вміст TiO_2	%	X1	0	4	8
	Вміст $CaCO_3$	%		0	12	24
2	Вміст $Na_2O \cdot SiO_2 \cdot 5H_2O$	%	X2	8	10	12
3	Вміст шлаку у ШПЦ	%	X3	45	70	95

У результаті обробки даних табл. 5 були отримані адекватні рівняння регресії – ступеню білизні (B_{TiO_2}), міцності через 28 діб ($R_{TiO_2}^{28}$) та термінів початку тужавлення (τ_{TiO_2}):

$$B_{TiO_2} = 65,02 + 8,6 \cdot X_1 + 1,8 \cdot X_2 + 5,2 \cdot X_3 - 7,5 \cdot X_1^2 - 0,5 \cdot X_2^2 + 4,5 \cdot X_3^2 - 0,13 \cdot X_{12} + 0,13 \cdot X_{13} - 0,13 \cdot X_{23} \quad (1)$$

$$R_{TiO_2}^{28} = 42,37 - 1,8 \cdot X_1 + 3,9 \cdot X_2 + 4,9 \cdot X_3 + 1,37 \cdot X_1^2 + 0,87 \cdot X_2^2 - 0,13 \cdot X_3^2 - 0,25 \cdot X_{13} + 3,25 \cdot X_{23} \quad (2)$$

$$\tau_{TiO_2} = 48,23 - 5 \cdot X_1 - 11,4 \cdot X_2 + 25 \cdot X_3 - 2,89 \cdot X_1^2 - 6,89 \cdot X_2^2 + 12,11 \cdot X_3^2 + 1,63 \cdot X_{12} - 2,38 \cdot X_{13} - 13,38 \cdot X_{23} \quad (3)$$

Таблиця 5 – Матриця експерименту з відбілювачем TiO_2

№	Матриця плану у кодах			Матриця плану у натуральних величинах			Міцність $R_{ст.}$, МПа, після, діб.			Строки початку тужавлення, хв.	Ступінь білизні, %
	X1	X2	X3	TiO_2 %	МС %	шлак %	2	7	28		
1	+	+	+	8	12	95	33,6	44,3	54,6	45	77
2	-	+	+	0	12	95	36,6	48,3	58,8	56	60
3	+	-	+	8	8	95	25,5	32,1	40,1	91	74
4	-	-	+	0	8	95	31,0	39,6	44,2	110	56
5	+	+	-	8	12	45	23,6	29,6	38,5	26	67
6	-	+	-	0	12	45	24,1	30,1	41,9	29	50
7	+	-	-	8	8	45	22,0	27,9	37,3	20	63
8	-	-	-	0	8	45	25,0	31,9	40,4	28	46
9	+	0	0	8	10	70	24,2	31,0	42,0	41	66
10	-	0	0	0	10	70	27,2	35,0	45,3	50	49
11	0	+	0	4	12	70	29,0	38,6	47,0	31	66
12	0	-	0	4	8	70	25,4	33,4	39,1	52	63
13	0	0	+	4	10	95	30,2	38,6	47,2	86	75
14	0	0	-	4	10	45	22,2	27,4	37,0	35	65
15	0	0	0	4	10	70	25,7	33,3	42,4	48	65

Таблиця 6 – Матриця експерименту з відбілювачем $CaCO_3$

№	Матриця плану у кодах			Матриця плану в натуральних величинах			Міцність $R_{ст.}$, МПа, після, діб.			Строки початку тужавлення, хв.	Ступінь білизні, %
	X1	X2	X3	$CaCO_3$ %	МС %	шлак %	2	7	28		
1	+	+	+	24	12	95	31,6	42,3	53,5	56	66
2	-	+	+	0	12	95	34,6	46,2	56,6	57	59
3	+	-	+	24	8	95	23,5	30,1	38,2	86	66
4	-	-	+	0	8	95	29,0	37,5	42,3	104	55
5	+	+	-	24	12	45	21,6	27,6	36,7	43	68
6	-	+	-	0	12	45	22,1	28,0	39,8	28	49
7	+	-	-	24	8	45	20,0	25,9	35,4	26	60
8	-	-	-	0	8	45	23,0	29,8	38,5	29	45
9	+	0	0	24	10	70	22,2	29,1	39,9	49	62
10	-	0	0	0	10	70	25,2	33,1	43,5	50	51
11	0	+	0	12	12	70	27,0	36,6	45,1	29	65
12	0	-	0	12	8	70	23,4	31,4	37,3	45	63
13	0	0	+	12	10	95	28,2	36,6	45,1	59	64
14	0	0	-	12	10	45	20,2	25,4	35,3	25	57
15	0	0	0	12	10	70	23,7	31,3	40,4	35	62

Обробка даних табл. 6 дозволила отримати адекватні рівняння регресії – ступеню білизні (B_{CaCO_3}), міцності через 28 діб ($R_{CaCO_3}^{28}$) та термінів початку тужавлення (τ_{CaCO_3}):

$$B_{CaCO_3} = 61,41 + 5,7 \cdot X_1 + 1,1 \cdot X_2 + 3,6 \cdot X_3 - 4,69 \cdot X_1^2 + 2,31 \cdot X_2^2 - 1,19 \cdot X_3^2 - 0,75 \cdot X_{12} - 1,25 \cdot X_{13} - 0,25 \cdot X_{23} \quad (4)$$

$$R_{CaCO_3}^{28} = 40,37 - 1,8 \cdot X_1 + 3,9 \cdot X_2 + 4,9 \cdot X_3 + 1,37 \cdot X_1^2 + 0,87 \cdot X_2^2 - 0,13 \cdot X_3^2 - 0,25 \cdot X_{13} + 3,25 \cdot X_{23} \quad (5)$$

$$\tau_{CaCO_3} = 35,04 - 0,7 \cdot X_1 - 7,6 \cdot X_2 + 22 \cdot X_3 + 14,46 \cdot X_1^2 + 1,96 \cdot X_2^2 + 1,961 \cdot X_3^2 + 4,25 \cdot X_{12} - 3,75 \cdot X_{13} - 11,5 \cdot X_{23} \quad (6)$$

Регресійний аналіз рівнянь (1...3) з відбілювачем TiO_2 показує, що усі три фактори позитивно впливають на білизну. Додавка TiO_2 дещо знижує міцність, а фактор метасилікату натрію і шлаку – навпаки сприяє її зростанню. Присутність TiO_2 і метасилікату натрію сприяє скороченню строків тужавлення, присутність шлаку – збільшенню.

Аналогічні якісні залежності спостерігаються і при використанні, як відбілювача, добавки $CaCO_3$ (рівняння 4...6). Ізоповірки білизні складів з додавкою TiO_2 у вигляді квазі-двофакторних експериментів представлені на рис. 2.

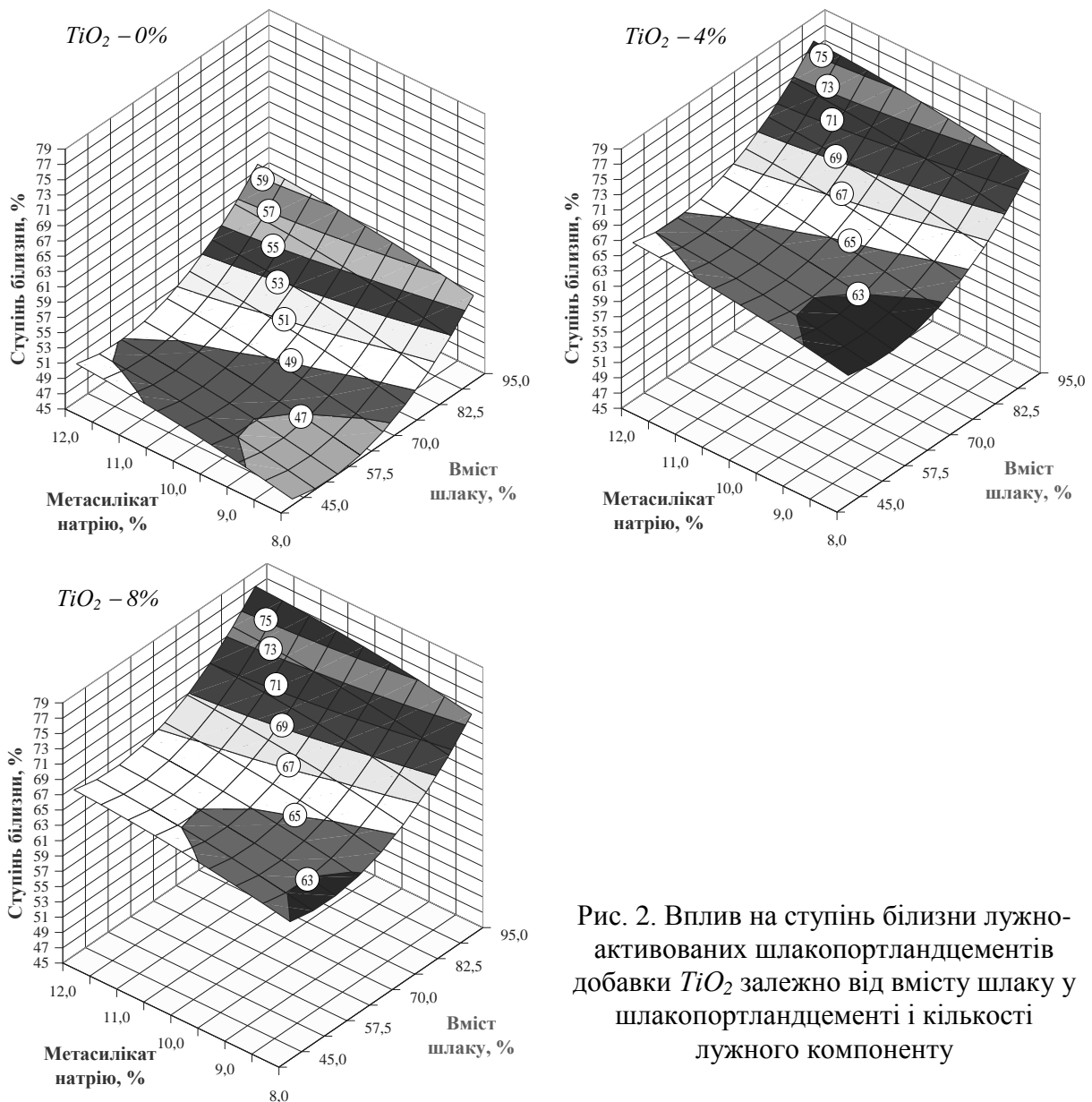


Рис. 2. Вплив на ступінь бїлизни лужно-активованих шлакопортландцементів добавки TiO_2 залежно від вмісту шлаку у шлакопортландцементі і кількості лужного компоненту

Ізоперфні бїлизні складів з добавкою $CaCO_3$ у вигляді квазі-двохфакторних експериментів представлені на рис. 3.

При використанні відбїлюючої добавки TiO_2 були отримані цемнти зі ступенем бїлизні 46...77%, а при використанні $CaCO_3$ – 45...66%. Строки початку тужавлення знаходились у межах 0-20...1-50 год.-хв. і 0-25...1-44 год.-хв. відповідно.

Встановлено, що лужно-активовані декоративні шлакопортландцементи мають у віці 28 дїб міцність на стиск 37...59 МПа. Усі склади мають хорошу динаміку твердіння і, виходячи з міцності у віці 2 дїб – 22...36,6 МПа, їх можна віднести до швидкотверднучих.

Усі склади розчинів на основі лужно-активованих декоративних шлакопортландцементів демонструють високу морозостійкість. Встановлено, що втрата їх міцності після 150 циклів заморожування та розморожування (що відповідає марці F200) складає всього 2...4%, втрати маси відсутні, лушення поверхні не спостерігається.

Виходячи з близької відбїлюючої дії добавки TiO_2 при її вмісті 4% і 8%, оптимальною кількістю добавки можна вважати 4...5% (рис. 2).

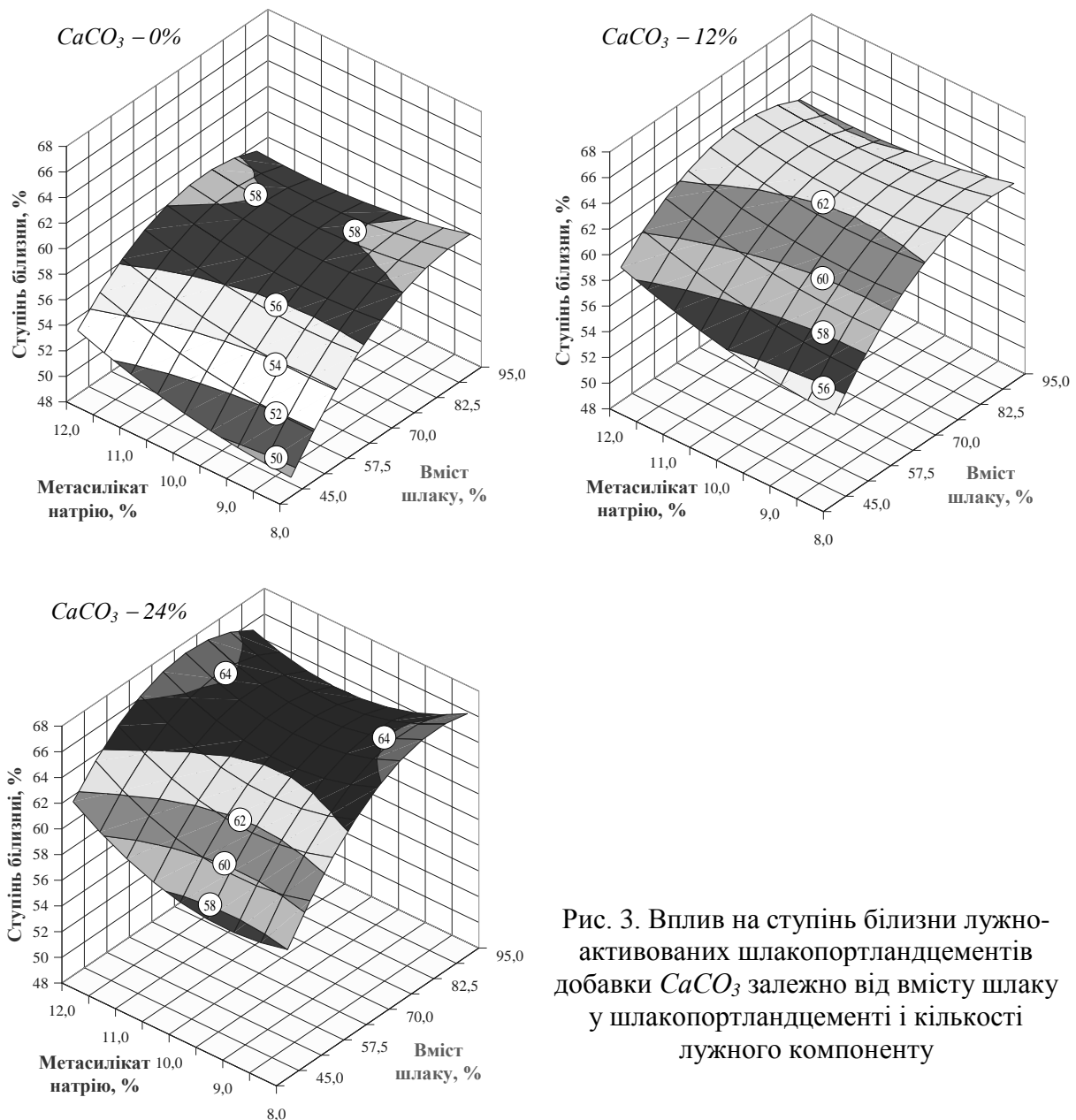


Рис. 3. Вплив на ступінь білизни лужно-активованих шлакопортландцементів добавки $CaCO_3$ залежно від вмісту шлаку у шлакопортландцементі і кількості лужного компоненту

Цікаво, що не дивлячись на достатньо високий вміст добавки $CaCO_3$ у композиціях (24%) їх міцність несуттєво відрізняється від композицій без добавки – 53,5 МПа і 56,6 МПа відповідно (табл. 6, поз. 1 і 2). Це може бути пояснене тим, що розмір частинок карбонату кальцію (6...9 мкм) співставний з розміром відкритих капілярних пор цементного каменю, що сприяє ущільненню мікроструктури цементного каменю через заповнення зернами добавки вакансій у зазорах між зернами цементу, і підвищенням дисперсії продуктів гідратації, для яких мікрочастинки кальциту служать центрами кристалізації [21, 22].

Відмічено також позитивний структуроутворюючий вплив добавки $CaCO_3$ на деформативність дрібнозернистих бетонів. Результати досліджень власних деформацій усадки декоративних лужно-активованих шлакопортландцементів у присутності оптимальної кількості відбілюючих добавок представлені на рис. 4.

Як видно з рис. 4, найменша усадка до моменту стабілізації спостерігалась у зразків з добавкою $CaCO_3$ – 0,51 мм/м. Усадка у складів з добавкою TiO_2 і без добавки – 0,61...0,62 мм/м. TiO_2 внаслідок малої кількості (4%) і хімічної інертності практично не впливає на усадку. Тому показники усадки складів без добавки і з добавкою TiO_2 мало відрізняються один від одного.

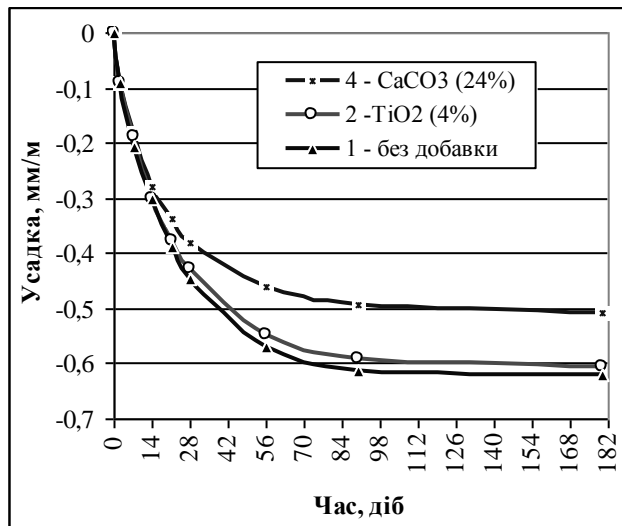


Рис. 4. Вплив відбілюючих добавок на власні деформації усадки

Для запобігання висолоутворенню до складу лужно-активованих цементів вводилась добавка натрій карбоксиметилцелюлози. Встановлено, що добавка натрій карбоксиметилцелюлози у кількості 0,5% повністю виключає ризик появи висолів. Крім того, вона здатна виконувати ще й і роль водоутримуючої та пластифікуючої добавки.

Висновки. Таким чином, отримані декоративні шлакопортландцементи з лужною активацією метасилікатом натрію із вмістом в них портландцементу ПЦІ 5...55%, які мають білизну у діапазоні 45...77%. Це дозволяє використовувати їх для отримання кольорових цементів з широким спектром кольорів – від білого до чорного.

Встановлено, що лужно-активовані декоративні шлакопортландцементи мають у віці 28 діб активність 37...59 МПа. Усі склади мають хорошу динаміку твердіння і, виходячи з міцності у віці 2 діб – 22...36,6 МПа, їх можна віднести до швидкотверднучих. На їх основі можна виготовляти сухі будівельні суміші. Усі склади розчинів на основі лужно-активованих декоративних шлакопортландцементів демонструють достатньо високу морозостійкість – F200. Це дозволяє використовувати їх для виготовлення виробів і розчинів як для експлуатації у приміщеннях, так і при дії атмосферних впливів без втрати проектних характеристик і декоративної привабливості.

Власні деформації усадки декоративних лужно-активованих шлакопортландцементів складають 0,51...0,61 мм/м, що виключає тріщиноутворення і передчасне руйнування виробів. Особливо ефективно для управління власними деформаціями усадки використання добавки $CaCO_3$. Таким чином, добавка $CaCO_3$ виконує функції не тільки декоративного, але й структуроутворюючого компоненту.

Бетонні та розчинові суміші можуть бути використані для виробництва декоративних виробів традиційним способом, способом екструзії, вібропресування, 3D-друком на будівельних принтерах тощо. А не надто довгі строки тужавлення і швидкий набір міцності дозволяють виготовляти вироби без тепловологої обробки або з мінімальними витратами теплової енергії.

Представлені результати є сигнальними, вказують на принципову можливість отримання високоякісних ефективних декоративних лужно-активованих шлакопортландцементів та бетонів на їх основі і слугують передумовою для розробки у перспективі високоміцних декоративних порошково-реактивних бетонів з керованою міцністю, деформативністю, довговічністю та іншими спеціальними характеристиками.

Подяка. Автори висловлюють подяку Міністерству освіти і науки України за фінансову підтримку проекту (реєстраційний № 0123U101832), який виконується за рахунок бюджетного фінансування у 2023...2025 рр.

Література

1. Семенов В.М. Лакокрасочные материалы для защиты бетонных и цементных поверхностей. *Лакокрасочная промышленность*. 2010. №11. С. 23-27.
2. Білий цемент. Портал Будпостач. URL: <https://pp-budpostach.com.ua/a118411-belyj-tsement.html> (дата звернення 19.05.2024).
3. Левашова Ю.С., Косенко Н.О., Лебедева О.С. Дослідження параметрів мікроклімату великого скупчення людей. *Науковий вісник будівництва*. 2019. №93(3). С. 217-221.
4. ДСТУ Б В.2.7-268:2011. Портландцемент кольоровий. Технічні умови (ГОСТ 15825-80, MOD). [Чинний від 2012-12-01]. Київ, Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. 2012.
5. Кривенко П.В., Петропавловський О.Н., Гелевера О.Г., Вознюк Г.В., Пушкарь В.І. Лужні товарні цементи та їх ефективність. *Збірник наукових праць "Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди"*. 2009. Вип. 18. С. 64-71.
6. Krivenko P.V. Alkaline Cements. Materials of the First International Conference "*Alkaline Cements and Concretes*", Kyiv. 1994. pp. 11-129.
7. Krivenko P. Alkali-Activated Materials – 55 Years of Experience. *Proc. of the International Conference on Alkali-Activated Cement and Concretes* (Chongqing, China). 2014. pp. 1-5.
8. Shi C., Krivenko P.V., Della Roy. Alkaline activated cements and concretes (in Chinese, Authorized translation from English) : Monograph. Taylor & Francis. 2012.
9. Krivenko P.V., Petropavlovsky O.N., Gots V.I., Rostovskaya G.S. Alkali activation of Composite Cement materials. *Internationale Baustofftagung*. Weimar. 2009. P.1-0445–1-0456.
10. Chaouche M., Gao X.X., Cyr M., Cotte M. and Frouin L. On the origin of the blue/green color of blast-furnace slag-based materials: Sulfur K-edge XANES investigation. *J Am Ceram Soc*. 2017. 100. 1707-1716. doi: 10.1111/jace.14670.
11. Davidovits J., *Geopolymer Chemistry and Applications*. 4th edition. Institut Geopolymere. Saint-Quentin, France, 2015.
12. Aydin S., Baradan B. Engineering properties of reactive powder concrete without Portland cement. *ACI Materials Journal*. 2013; 110(6), pp. 619-627.
13. Pujitha Ganapathi Chottemada, Jesus Rodriguez Sanchez, Arkamitra Kar Drying shrinkage properties of fiber-reinforced alkali-activated slag and their correlations with microstructure. *Construction and Building Materials*. Volume 411, 2024, Page 134669. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.134669>.
14. Krivenko P., Petropavlvsky O., Puskar V., Ostrovska L., Decorative alkaline cements. IV Intern. Symp: *Non-Traditional cement & Concrete*. Brno. 2011. pp. 257-265.
15. Kryvenko P., Sanytsky M., Kropyvnytska T., Kotiv R. Decorative multi-component Alkali Activated Cements for restoration and finishing works. *Advanced Materials Research* Trans Tech Publications. 2014. 897. pp. 45-48. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.897.45.
16. Кривенко П.В., Ковальчук О.Ю. Управління декоративними властивостями лужних цементів. *Науковий вісник будівництва*. 2019. Т.2. №2(95). С. 280–285.
17. Бутт Ю.М., Тимашев В.В. Практикум по химической технологии вяжущих веществ. Москва: Высшая школа, 1973. 504 с.
18. Численные методы решения строительно-технологических задач на ЭВМ /под. ред. В.А. Вознесенского. Киев: Выща школа, 1989. 328 с.
19. ДСТУ Б В.2.7-69-98. Добавки для бетонів. Методи визначення ефективності (ГОСТ 30459-96). Київ: Держбуд України, 1999. 39 с.
20. ДСТУ Б В.2.7-47-96. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення морозостійкості. Загальні вимоги (ГОСТ 10060.0-95) Київ: Державний комітет України у справах містобудування і архітектури, 1997. 15 с.
21. Kovalchuk O., Grabovchak V. and Govdun Y. Alkali activated cements mix design for concretes application in high corrosive conditions. *Matec Web Conferences*. 2018. 230. 03007.
22. Kropyvnytska T., Semeniv R., Kotiv R., Kaminsky A. and Hots V. Studying the effect of

nanoliquids on the operational properties of brick building structures. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. 5/6 (95). pp. 27-32.

References

- [1] V.M. Semenov, "Lakokrasochnue materyalu dlja zashchytu betonnykh y tsementnykh poverkhnostei", *Lakokrasochnaia promushlennost*, no. 11, pp. 23-27, 2010.
- [2] Bilyi tsement. [Online]. Available: <https://pp-budpostach.com.ua/a118411-belyj-tsement.html>. Accessed on: May 19, 2024.
- [3] Ju.S. Levashova, N.O. Kosenko, O.S. Ljebjedjeva, "Doslidzhennja parametriv mikroklimatu velykogo skupchennja ljudej", *Naukovyj visnyk budivnytstva*, no. 93(3), pp. 217-221, 2019.
- [4] DSTU B V.2.7-268:2011. Portlandcement kol'orovij. Tehnichni umovi. Kiïv: Ministerstvo regional'nogo rozvitku, budivnytstva ta zhitlovo-komunal'nogo gospodarstva Ukraïni, 2012.
- [5] P.V. Kryvenko, O.N. Petropavlovs'kyj, O.G. Gelevera, G.V. Voznjuk, V.I. Pushkar', "Luzhni tovarni cementy ta i'h efektyvnist'", *Resursoekonomni materialy, konstrukcii, budivli ta sporudy*, vyp.18, pp. 64-71, 2009.
- [6] P.V. Krivenko, "Alkaline Cements", *Materials of the First International Conference "Alkaline Cements and Concretes"*, Kyiv, 1994, pp. 11-129.
- [7] P. Krivenko, "Alkali-Activated Materials – 55 Years of Experience", *Proc. of the International Conference on Alkali-Activated Cement and Concretes*, 2014, pp. 1-5.
- [8] C. Shi, P.V. Krivenko, Della Roy, *Alkaline activated cements and concretes* (in Chinese, Authorized translation from English): Monograph, Taylor & Francis. 2012.
- [9] P.V. Krivenko, O.N. Petropavlovsky, V.I. Gots, G.S. Rostovskaya, "Alkali activation of Composite Cement materials", *Ibausil. Internationale Baustofftagung*. Weimar, 2009, pp. 1-0445–1-0456.
- [10] M. Chaouche, X.X. Gao, M. Cyr, M. Cotte and L. Frouin, "On the origin of the blue/green color of blast-furnace slag-based materials: Sulfur K-edge XANES investigation", *J Am Ceram Soc.*, 100, pp. 1707-1716, 2017. doi:10.1111/jace.14670.
- [11] J. Davidovits, *Geopolymer Chemistry and Applications*. 4th edition. Institut Geopolymere. Saint-Quentin, France, 2015.
- [12] S. Aydın, B. Baradan, "Engineering properties of reactive powder concrete without Portland cement", *ACI Materials Journal*, 110(6), pp. 619-627, 2013.
- [13] Pujitha Ganapathi Chottemada, Jesus Rodriguez Sanchez, Arkamitra Kar, "Drying shrinkage properties of fiber-reinforced alkali-activated slag and their correlations with microstructure", *Construction and Building Materials*, vol. 411, 134669, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.134669>.
- [14] P. Krivenko, O. Petropavlvskyy, V. Puskar, L. Ostrovska, "Decorative alkaline cements", *IV Intern. Symp: Non-Traditional cement & Concrete*. Brno, 2011, pp. 257-265.
- [15] P. Kryvenko, M. Sanytsky, T. Kropyvnytska, R. Kotiv, "Decorative multi-component Alkali Activated Cements for restoration and finishing works", *Advanced Materials Research* 897, Trans Tech Publications, Switzerland, pp. 45-48, 2014. doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.897.45.
- [16] P.V. Kryvenko, O.Ju. Koval'chuk, "Upravlinnja dekoratyvnymy vlastyvoztjamy luzhnyh cementiv", *Naukovyj visnyk budivnytstva*, vol. 2, no. 2(95), pp. 280-285, 2019.
- [17] Ju.M. Butt, V.V. Timashev, *Praktikum po himicheskoy tehnologii v'jazhuchih veshhestv*. Moskva: Vysshaja shkola, 1973.
- [18] V.A. Voznesenskiy, *Chislennye metody reshenija stroitel'no-tehnologicheskikh zadach na JeVM*. Kiev: Vyshha shkola, 1989.
- [19] DSTU B V.2.7-69-98. Dobavky dlja betoniv. Metody vyznachennja efektyvnosti (GOST 30459-96). Kyi'v: Derzhbud Ukrai'ny, 1999.

- [20] DSTU B V.2.7-47-96. Budivel'ni materialy. Betony. Metody vyznachennja morozostijkosti. Zagal'ni vymogy (GOST 10060.0-95). Kyi'v: Derzhavnyj komitet Ukrainy u spravah mistobuduvannja i arhitektury, 1997.
- [21] O. Kovalchuk, V. Grabovchak, Y. Govdun, "Alkali activated cements mix design for concretes application in high corrosive conditions", *Matec Web Conferences*, 2018, 230, 03007.
- [22] T. Kropyvnytska, R. Semeniv, R. Kotiv, A. Kaminskyy, V. Hots, "Studying the effect of nanoliquids on the operational properties of brick building structures", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5/6 (95), pp. 27-32, 2019.

THE ROLE OF CaCO_3 IN THE FORMATION OF STRENGTH AND DECORATIVE PROPERTIES OF POWDER ALKALINE-ACTIVATED SLAG CEMENT CONCRETE

¹**Razsamakin A.V.**, postgraduate student,
razsamakin.a@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5130-6059

¹**Gots V.I.**, Doctor of Engineering, Professor,
knubatbkv@ukr.net, ORCID: 0000-0001-7702-1609

¹**Rudenko I.I.**, Doctor of Engineering, Professor,
igor.i.rudenko@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5716-8259

¹**Gelevera O.G.**, PhD., Assistant Professor,
a-gelevera@ukr.net, ORCID: 0000-0002-6285-9780
¹*Kyiv National University of Construction and Architecture*
31 Povitroflotsky Ave., Kiev, 03037, Ukraine

Abstract. The article discusses approaches to the formation of compositions of alkali-activated decorative Portland slag cements containing Portland cement type CEM1 5...45% with high performance and decorative properties. The optimization of the compositions of decorative alkali-activated Portland slag cements was carried out using statistical methods for designing experiments. Finely dispersed TiO_2 and CaCO_3 additives with a whiteness of 90% were used as bleaching components. The alkaline component is sodium metasilicate in the form of a non-hygroscopic powder. The research carried out made it possible to obtain decorative Portland slag cements with a whiteness of 45...77%, which allows them to be used to produce colored cements with a wide range of colors from white to black. It has been established that alkali-active decorative Portland slag cements have an activity of 37...59 MPa at the age of 28 days. All compositions have good hardening dynamics and, based on the strength at the age of 2 days – 22...36.6 MPa, they can be classified as fast-hardening. Based on them, it is possible to produce dry construction mixtures. All mortar compositions based on alkali-active decorative Portland slag cements demonstrate fairly high frost resistance – F200. This allows them to be used for the manufacture of products and solutions both for indoor use and when exposed to atmospheric influences without loss of design characteristics and decorative appeal. The inherent shrinkage strains of decorative alkali-activated Portland slag cements are 0.51...0.61 mm/m, which eliminates cracking and premature destruction of products. The use of the CaCO_3 additive is especially effective for controlling the shrinkage deformations. Thus, the CaCO_3 additive performs the functions of not only a decorative component, but also a structure-forming component. Concrete and mortar mixtures can be used to produce decorative products using the traditional method, extrusion, 3D printing on construction printers, etc. And not too long setting times and a rapid increase in strength make it possible to produce products without thermal treatment or with minimal consumption of thermal energy.

Key words: alkali-activated decorative Portland slag cements, whiteness, strength, deformability, experimental mathematical models.

Стаття надійшла до редакції 4.07.2024

ANALYSIS OF MODERN SCIENTIFIC AND PRACTICAL RESEARCH IN THE FIELD OF WATER DISTRIBUTION SYSTEM

¹**Aleynikova A.**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, alevtynaal222@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2486-4263

²**Hulievskiy P.**, PhD, gulevskiyp@gmail.com, ORCID: 0000-0002-4164-2101

^{1,2}**Voronenko I.**, ptokhvo@ukr.net, ORCID: 0009-0006-0109-579

¹*O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine*
17, Marshala Bazhanov Str., Kharkiv, 61002, Ukraine

²*Communal enterprise «Kharkivvodokanal»,*
90, Kontorska Str., Kharkiv, 61052, Ukraine

Abstract. Solving the problem of ensuring the reliable functioning of drainage systems is important not only for Ukraine, but also for scientists around the world. Since these systems are critically important for life support, their uninterrupted operation is of strategic national importance. The issue of preservation and restoration of existing underground communications is gaining particular relevance due to increased environmental requirements. To protect groundwater from contamination with aggressive reagents, it is important to understand the reasons for the destruction of underground communications structures and effective methods of their repair. The article analyzes scientific works related to the problems of ensuring the trouble-free operation of objects that are part of the complex of constructions of sewer tunnels of the city. Grouped according to the direction of research work: research on the corrosion process in water drainage networks; analysis of modern ones; materials, laboratory tests; technologies for restoring drainage networks. Analysis of studies of the condition of structures of objects; research of materials and methods of repair and restoration of sewage tunnels and inspection shafts, which are currently used with high efficiency in domestic and foreign practice; development of technological and organizational solutions and restoration of destroyed sewage structures of drainage networks. The analysis of the researches of domestic scientists showed that the sewer tunnels of large cities of Ukraine are worn out as a result of long-term operation, ineffective solutions to protect structures from the influence of an aggressive environment, low-quality materials and structures used during construction. Restoring normative operational characteristics, increasing the durability of sewage tunnels is a costly and technically complex task, the solution of which is urgently needed to prevent accidents, including those with serious environmental consequences. Existing modern technologies of work performance, materials and structures used for repair and restoration works with different efficiency solve these problems, at the same time, the need to reduce costs for repair and restoration works requires the search for cost-effective materials, structures and methods of work performance. The analysis of the conducted studies shows that the problem of increasing the durability of sewage network structures should be solved comprehensively, taking into account the current situation.

Keywords: sewage disposal, influencing factors, recovery technologies, repair, anti-corrosion coating, research analysis.

Introduction. Already at the beginning of the 20th century, and especially after the First World War, the intensive development of technology for the transportation and treatment of wastewater began. The development of industry and the processes of urbanization caused an increase in the volume of wastewater and the load on transport highways.

Since drainage networks belong to life support systems, their normal functioning is a task of state importance. The problem of preservation and restoration of existing underground

communications becomes especially urgent in connection with the increased requirements of ecology. In order to protect groundwater from the ingress of various aggressive reagents, it is necessary to know the reasons for the destruction of underground communications structures and the methods of repairing damage.

Solving the problems of ensuring the reliable operation of the city's drainage systems is relevant not only for Ukraine, but also for scientists around the world.

Analysis of recent researches and publications. In the domestic researches of I.O. Abramovich [1], Aleynikova A.I. [2-7], Brigady O.V. [8], Bulgakova Yu.V. [9], Goncharenko D.F. [5-7, 10], Dobryaeva A.A. [11], Zabelina S.A. [4, 5, 11], Kabusya O.V. [12], Kis V.M. [13], Kurovskii I.I. [14], Kovalenko A.V. [15], Korinko I.V. [16], Rosenthal N.K. [17], Starkova O.V. [6, 18, 19], Klein Y.B. [20], Mezhenyskiy A.N. [21], Uvarova E.P. [21], Iurchenko V.O. [22, 23] and others, foreign D. Shtein [27], J. Horstmann [28], W. Fischer [29], U. Schmidt [30], D. Ufermann [31], R. Stein [32], B Müller [33], S. Ellerhorst [34], V. Niederehe [35], R. Kammerer [36], D. Mathews [37], S. Tambe [38], M. Pozoki [39], K. Luo [40], M. Kiliswa [41], T. Gourley [42], E. Hewayde [43], S. Taheri [44] and others pay great attention to the repair and restoration of drainage tunnels with the use of various building and construction materials resistant to aggressive sewage environments, the study of factors affecting the operational durability of sewage tunnels.

The purpose and objectives of the research. The purpose of the article is the analysis of modern scientific and practical research in the field of water distribution systems. Analysis of scientific works:

- regarding the condition of structures of objects that are included in the complex of structures of sewage networks, research of factors leading to their failure of functioning and research devoted to the issue of reducing the influence of an aggressive environment on drainage structures;
- aimed at solving the problems of increasing the operational reliability of sewage tunnels;
- research of materials for repair and restoration of sewage tunnels and inspection shafts, methods of their implementation;
- regarding the methods of technological, organizational and constructive solutions for the repair and restoration of destroyed sewage tunnels and inspection shafts.

The main part. Researchers from all over the world are dealing with issues of increasing the operational resource of sewage collectors. Based on a comparison of the scientific works of researchers from near and far abroad, they can be grouped according to the direction of research works:

- research of the corrosion process in water drainage networks (Table 1, Item 1);
- analysis of modern materials, laboratory tests (Table 1, Item 2);
- technologies for restoring drainage networks. (Table 1, Item 3).

Table 1 – Analysis of modern scientific and practical research in the field of water distribution system

№	Scientific works, scientists	The main provisions of the study, advantages	Comment
1	2	3	4
1. Corrosion processes in the sewage network			
1.1	I.O. Abramovich [1]	In the works of Professor I.O. Abramovich [1], who was most directly related to the design and construction of sewage tunnels in the city of Kharkiv, great attention was paid to the study of factors affecting their durability. As the author emphasizes in his scientific works, it is the corrosion processes occurring in the above-water part of the tunnels that have the greatest impact on their durability.	At the same time, in his work, the author paid insufficient attention to the selection of construction materials that can resist corrosion of reinforced concrete pipes, tubing and monolithic reinforced tunnel treatment. His assumptions about the destructive effect

1	2	3	4
			of gas corrosion were confirmed after several years of operation of both reinforced concrete pipes and tunnels.
1.2	V.O. Iurchenko [22, 23]	In the studies, much attention is paid to the process of gas corrosion and reducing the influence of an aggressive environment on the construction of drainage networks. In the works, the author noted that the genesis of acid formation on the vault is caused by microbiological processes, which are caused by immobilized microbiocenoses in the tray part of sewer pipelines: mainly microbiological sulfate reduction of sulfate reduction to hydrogen sulfide by protons of organic compounds. The formed hydrogen sulfide is released into the atmosphere of the basement space and dissolves in film moisture on the tunnel vault. The work noted that an important condition for the development of biogenic sulfuric acid corrosion in sewage systems is the presence of moisture on the surface of the building structure, which is exposed to hydrogen sulfide. Building structures that are constantly in a dry state are not susceptible to biogenic sulfuric acid corrosion, even if hydrogen sulfide is constantly present. Decreasing the humidity of the gas environment of the tunnel by supplying fresh air to the sub-basement space significantly slows down the rate of concrete corrosion.	A comprehensive study highlighting the quantitative and qualitative assessment of the dispersion of harmful substances in the atmosphere directly for the city of Kharkiv.
1.3	Brigada O.V. [8]	The work provides an analysis of emergency situations during the operation of drainage networks, methods of diagnosing their condition and controlling the composition of the atmosphere in the underground space of sewage pipelines. The features of non-destructive monitoring of the state of concrete collectors are characterized, the main coefficients for calculating the depth and speed of concrete corrosion are determined experimentally.	A meaningful study in which reviews of sections of sewerage networks in the city of Kharkiv are given, the concentration of hydrogen sulfide in the atmosphere of the underground space is determined by two methods. The determination of the effectiveness of protective coatings of various compositions to protect concrete from the biogenic aggression of sulfuric acid is given.

1	2	3	4
1.4	S.A. Zabelin, A.I. Aleynikova [4]	In the scientific work, an analysis of experimental studies of materials that resist corrosion was carried out.	A meaningful study. On the basis of the analysis of the latest works, approaches, and practices devoted to the study of corrosion processes of sewage collectors, and according to the results of their grouping in accordance with the direction of research, the authors proposed a methodology for the study of microbiological corrosion of drainage collectors and the main methods of combating it.
2. Analysis of modern materials, laboratory tests			
2.1	N.K. Rosenthal [17]	The studies emphasize that the catastrophic consequences of corrosion destruction of water supply, drainage and water treatment facilities require large-scale solutions to the problem of ensuring their durability at the stages of design, construction and operation. The safe operation of these facilities requires taking into account world experience and conducting own research with the involvement of specialists from various fields: chemists, technologists, microbiologists, designers. In his work, promising materials for corrosion protection were considered.	Modern sewage pipelines are a complex complex of interconnected structures in which various physical, chemical and biological processes take place. The action of such processes is not controlled and is accompanied by significant costs associated, in particular, with a decrease in the operational reliability of the functioning of sewage collectors. Almost all modern studies of methods
2.2	V.M. Kis [13]	The question of increasing the durability of reinforced concrete pipelines was reflected in the works where the author developed liner pipelines lined with thin-walled profiled polyethylene.	of increasing the operational resource of water drainage networks, destroyed under the influence of microbiological corrosion,
2.3	O. Kabus, V. Lykhogray [12]	The work considers the assessment of the increase in durability of protective coatings applied to the middle layer of polymer concrete. This is a layer that is formed as a result of applying a polymer coating with a filler on the surface of ordinary concrete with a large exposed aggregate. Exposing the large aggregate using the "washed concrete" technology allows you to significantly reduce the contact area of the coating with cement hydrates that react with an acidic environment and reduce the likelihood of subsurface corrosion and peeling of the	are related to the application of technologies for the use of polymeric materials. Modern multi-component materials have quality characteristics that prevent corrosion damage to structures.

1	2	3	4
		coating. The results showed that the formation of a surface polymer concrete layer allows to increase the durability of concrete structures in an acidic environment.	
2.4	V. Fischer (Germany) [29]	In the scientific work of the German scientist, considerable attention is paid to the selection of pipes for open methods of repair and restoration work on sewage networks. Special attention in his research was paid to pipes of large diameters made on the basis of polypropylene. The strength characteristics of the pipes and the expediency of their use under various operating conditions are given in the work.	
2.5	Bodo Müller (Germany) [33]	In his work, the author presented the results of research on plastic materials for their use in repair and restoration works.	
2.6	Wilhelm Niederehe (Germany) [35]	The work considers static loads on sewage pipelines during open repair works, in particular for pipes made of concrete, reinforced concrete, polymer concrete, fiberglass and other materials.	
2.7	D. Mathews, A. Cox (USA) [96]	The research conducted by the authors suggests the use of polymer nanocoatings as a method of controlling the corrosion of iron pipelines.	
2.8	S. Tambe and his colleagues (India) [38]	Laboratory modeling of microbiological corrosion processes of sewage systems was analyzed in the research. The article evaluates the effectiveness of epoxy coatings with and without biocides through their interaction with cultures of sulfate-reducing bacteria in an anaerobic environment. Methods such as the formation of inhibition zones, visual observations, scanning electron microscopy (SEM), electrochemical impedance spectroscopy (EIS) and analysis of coating adhesion to the inner walls of the collector were used to evaluate the microbiological efficiency.	
2.9	N. Rohem and his colleagues (Brazil) [46]	The study analyzes the use of polymer-based composite materials for repairing and strengthening damaged pipelines. Experimental tests have shown the high efficiency of the new composite material in the process of restoring the inner surface of pipelines.	

1	2	3	4
2.10	M. Pazoki and his co-authors (Iran) [39]	The study conducted a comparative analysis of polyurethane and polyvinyl chloride for lining concrete sewer pipes for protection against biological corrosion. Experimental data showed that after three months, polyurethane demonstrates better strength and stability in an acidic, aggressive environment compared to PVC. Thanks to its strong adhesion to the concrete surface, the polyurethane coating effectively reduces the penetration of the acidic solution formed as a result of the fermentation of sewage into the concrete structure.	
2.11	K. Luo and his co-authors (China) [40]	The study considered tubular composite raw materials, as well as a comparison of methods of their formation and evaluation of efficiency, in particular from the point of view of service life. and corrosion resistance.	
2.12	M. Kiliswa (South Africa) [41]	In scientific works, the rate of biogenic corrosion of concrete is analyzed, which depends on the chemical composition of binding components (cement, additives), as well as on the microstructural characteristics of concrete. mixtures used in the manufacture of sewer pipes.	
2.13	T. Gourley, G. Johnson (Australia) [42]	Research by scientists has suggested sewer pipes made using geopolymer concrete show excellent corrosion resistance in these highly aggressive environments. Laboratory and practical comparative tests of sewage networks show the advantage of a sewer pipe made of geopolymer concrete.	
2.14	E. Hewayde and co-authors [43] (Iraq),	The paper investigates the issue of anti-corrosion coating based on copper oxide and silver oxide. Each of the oxides was mixed with an epoxy resin used to repair concrete sewer pipes before being sprayed onto the inner surface of the concrete pipes to form a coating film. These tests showed that sulfide formation by sulfate-reducing bacteria in oxide-coated pipes was reduced by 92% and 100%.	
2.15	S. Taheri and his colleagues (Australia) [44]	In a scientific study, the influence of mullite, an aluminosilicate mineral, on the strength and resistance of concrete to acid corrosion was analyzed under the conditions of accelerated tests in sulfuric	

1	2	3	4
		<p>acid solutions at pH 0.25 and 1. Scanning electron microscopy, micro-X-ray fluorescence spectrometry and Vickers hardness were used to evaluate physicochemical methods such as compressive strength. The results showed that the addition of mullite slightly changes the overall strength of solutions and concrete samples, but significantly increases their resistance to sulfate corrosion, in particular by 90%. This indicates a potential extension of service life and reduced maintenance costs for concrete pipes subject to acid corrosion in sewage systems. It was also noted that the inhibition efficiency depends on the acid concentration and improves with increasing mullite content in the samples.</p>	
<p>3. Recovery technologies</p>			
3.1	A.O. Dobryaev [11]	<p>The scientific research is devoted to an open way of carrying out repair and restoration works. With the participation of the author, constructive solutions for the restoration of the Ordzhonikidzev collector in the city of Kharkiv were developed: the pipeline to be restored is built from monolithic reinforced concrete, the preserved tray part serves as the basis for the new pipeline, and a pipe made of profiled polyethylene is installed as a lining. The method of calculating the strength characteristics of the structure being developed, based on the finite element method, is proposed.</p>	<p>The technical, technological and organizational solutions proposed by the author significantly shorten the duration and reduce the cost of repair work, extending the life of the collector by using profiled polyethylene.</p>
3.2	Yu.B. Klein [20]	<p>In the studies, the performance of works in an open way in water-saturated soils is considered. The work proposes a device that allows combining the processes of soil development and temporary fastening with simultaneous drying of the soil in the drilling zone with water-receiving devices mounted in the blade part of the shield of the temporary mobile fastening.</p>	<p>The use of this method using the developed device makes it possible to reduce the duration of work by 2 times compared to the duration of these works by existing methods.</p>
3.3	D.F. Goncharenko [5-7, 10]	<p>In scientific works, the problems of the destruction of shallow sewage collectors, methods of their preparation for restoration and repair, technological solutions for repair and restoration of collectors by open and closed methods</p>	<p>The author devoted numerous studies and scientific works, proposed numerous technical, technological and organizational solutions that</p>

1	2	3	4
		are widely considered. These works are based on theoretical calculations and have practical implementation.	significantly shorten the duration and reduce the cost of repair and restoration works.
3.4	D.F. Goncharenko, O.V. Starkova, A.I. Aleynikova [6]	The scientific publication examines the theoretical justification of the choice of open and closed methods of repair and restoration of water pipes. In these works, the authors study the methods of choosing priority factors that affect the determination of the method of carrying out repair and restoration works. In the scientific works, the authors developed automated systems for choosing the method of restoring water pipes using the apparatus of fuzzy logic.	The automated systems for choosing the way to restore water pipes using the fuzzy logic apparatus proposed by the authors will allow to significantly reduce the cost of repair and restoration works.
3.5	D.F. Goncharenko Yu.V. Bulgakov [9]	The research has developed several options for carrying out repair work in sewage tunnels damaged by gas corrosion. The main one is the insertion method, which involves the use of polyethylene and fiberglass pipes of large diameter. In case of incomplete corrosion destruction of the finish, it is proposed to restore the crypt part of the tunnel by reinforcing it with composite reinforcement, followed by the application of a protective layer by fiber shotcrete. For this purpose, the authors selected fibers and complex additives that allow to increase the strength and waterproofing of the concrete layer that is applied again.	Technical, technological and organizational solutions proposed by the author significantly shorten the duration and reduce the cost of repair and restoration works.
3.6	O.B. Starkova [6, 18, 19]	In the works, a model of a justified choice of methods of repair and restoration of the sewage network section was developed. The author considered single-criteria optimization under the condition of choosing one method of repairing the section of the sewage collector; single-criterion optimization under the condition of choosing several methods of repairing the section of the sewage collector; multi-criteria optimization when choosing methods for repairing the sewage collector area.	The author developed a method for the reasonable selection of methods of repair and restoration of the sewage network and is recommended for further implementation in practice.
3.7	A.N. Mezhenskiy, E.P. Uvarova [21]	Scientific works are devoted to methodical development of selection and standardization of indicators of reliability of water supply and drainage pipelines.	The presented approach is meaningful, and for further implementation in production and use in

1	2	3	4
		In these works, the composition and structure of the parameters of the sequence of the formation of design materials of all sections of the complex project were determined, the potential possibilities of their multivariation were revealed for all stages in the genesis of the complete life cycle of the construction, operation, reconstruction project, using the calculation method of carrying out planned and preventive repairs taking into account the level of normative environmental requirements.	practice, it requires certain qualifications.
3.8	S.A. Zabelin [4]	In scientific studies, special attention is paid to the repair and restoration of sewage pipelines at a depth of 4 m or more, located in heterogeneous bulk soils, where the groundwater level can reach 0.5 m. Often, water supply, gas supply and other communication networks are located nearby. For repairs in such conditions, the author developed a design solution for vertical fastening for trenches and pits.	The universal installation, developed by the author, ensures the stability of the soil on the walls of trenches and pits and allows the removal of soil, atmospheric and waste water during work.
3.9	A.I. Aleynikova, B.S. Sorokina, V.Yu. Sorokina [2]	In the scientific work, with the help of economic forecasting methods, accident rates were calculated and a comparative analysis with previous years was carried out. We note the constant rapid growth of costs for the repair of sewage manholes from year to year, which once again confirms the relevance and timeliness of conducting this study, because all these costs can be reduced due to the implementation of a monitoring system.	The authors suggested conducting two types of monitoring - periodic, which is carried out 4 times a year, and large-scale, which is carried out once, which will allow for more detailed forecasting and reduce the costs of restoring drainage networks.
3.10	A.I. Aleynikova, P.Yu. Hulievskiy, I.V. Voronenko [3]	The scientific publication noted that basalt-based products meet the requirements for materials used to protect sewage networks. The authors proposed developed organizational and technological solutions for the repair and restoration of tunnels in the bordering places with inspection shafts by restoring the arch with basalt tile lining.	The authors offer a complex of technical, technological and organizational solutions that significantly shorten the execution time and reduce the costs of repair and restoration works.
3.11	A.V. Kovalenko [15]	The work is devoted to the development of effective technological solutions for the elimination of accidents in sewage tunnels. The author analyzed emergency situations that occurred in various cities, including Kharkiv. For this purpose, the	A distinctive feature of the technologies developed by the author during the elimination of accidents in deep tunnels is the double protection of the massif and

1	2	3	4
		<p>author proposed technical and technological solutions aimed at creating protection of the massif and the surface of the soil by artificially freezing them with liquid nitrogen, followed by penetration of the blockage and construction of secondary processing by counter-pressing with reinforced concrete rings.</p>	<p>the soil surface from displacements and deformations. At the same time, the tray part of the tunnel treatment that is not destroyed by gas corrosion is used as a fence from below.</p>
3.12	I.I. Kurovskii [14]	<p>In his works, the author developed a methodology for calculating the strength of precast monolithic steel-concrete liner pipelines lined with material from slag casting of the Nikopol Ferroalloy Plant. In his work, the designs of the joints of steel nicrolite pipe liners are proposed.</p>	<p>It would be advisable to make the economic efficiency of using this technique and compare it with other techniques.</p>
3.13	G.O. Damekin [24]	<p>The work is devoted to increasing the efficiency of works on the restoration of tunnel collector structures. The author proposed to repair the crypt part of the tunnels damaged by corrosion by lining them with large-format sheets of ceramic tiles. A methodology for calculating the strength of the facing layer has been developed.</p>	<p>Technical, technological and organizational solutions proposed by the author significantly shorten the duration and reduce the cost of repair and restoration works.</p>
3.14	I.V. Korinko [16], V.O. Voronenko [25], V.V. Zaporozcia [26]	<p>The issue of increasing the operational durability of inspection mine structures was reflected in the works. Repair and restoration of mine wall structures was carried out using reinforced concrete panels lined with profiled polyethylene, slag-cast panels manufactured at the ferroalloy plant, clinker brick, and polymer concrete.</p>	<p>Technical, technological and organizational solutions proposed by the authors for the restoration of inspection shafts of sewage collectors, which significantly shorten the duration and reduce the cost of repair and restoration works.</p>
3.15	D. Stein (Germany) [27]	<p>In scientific works, considerable attention is paid to open methods of repair and restoration of sewage pipelines. The author believes that an important part of pipeline repair is the arrangement of pipe joints and the replacement of damaged elements.</p>	<p>The scientist investigates numerous examples of the repair of sewage systems using ceramic, polyethylene and fiberglass pipes, and also presents the results of the restoration of brick pipelines in the cities of Western Europe.</p>
3.16	J. Horstmann, P. Pfannenschmidt (Germany) [28]	<p>In the scientific works of scientists, the use of geotextile materials in open methods of repair and restoration works on sewage pipelines is considered.</p>	<p>The author presents a number of technical, technological and organizational solutions that significantly shorten the execution time and reduce the costs of repair and restoration works.</p>

1	2	3	4
3.17	U. Schmidt, A. Bohasch (Germany) [30]	The research examines technical and technological solutions that were developed in the German city of Minden to reduce the level of corrosion of reinforced concrete channels, as well as odors entering the environment from the channels.	Special attention is paid to the system of damping the outgoing gases from the channels with the help of special equipment installed in inspection shafts. Quantitative indicators characterizing the effectiveness of the adopted decisions are presented.
3.18	R. Stein (Germany) [32]	In the studies, the question of the effectiveness of the application of injection methods during the rehabilitation of channels made of reinforced concrete is considered. The qualitative characteristics of construction materials used for injecting pipelines located in different soils are presented.	Attention is paid to the efficiency of using various materials and methods of their application in damaged channels and pipelines.
3.19	S. Ellerhorst, M. Schröder, B. Woffen (Germany) [34]	Scientific research was focused on the analysis of the economic efficiency of methods of carrying out repair and restoration works in an open manner.	The presented approach is meaningful, and for further implementation in production and use in practice, it requires certain qualifications.
3.20	R. Kammerer (Germany) [36]	In his research, the author considered in detail the repair and restoration of pipelines made of ceramic bricks. The author of the article, using the example of channels laid out of bricks in the century before last in Frankfurt am Main, provides the method of research of these channels, the list of equipment and tools that are recommended for its implementation. Factors leading to their destruction, plans for their rehabilitation are considered.	Technical, technological and organizational solutions proposed by the author significantly shorten the duration and reduce the cost of repair and restoration works.
3.21	Z. Suligowski, M. Orłowska- Sczostak (Poland) [45]	The work in which the technical and organizational-technological solutions of the reconstruction of the drainage system in the city of Warsaw are considered is significant. During the construction of the new tunnels, the microtunneling method was used with the use of shields, which allow laying fiberglass pipes with a diameter of 3000 mm, which were supplied by the Hobas company.	The author offers a number of technical, technological and organizational measures that significantly reduce the duration and costs of repair and restoration works.

Conclusions and directions for future research. In the article, the following were grouped according to the direction of research work and summarized in a table: the study of the corrosion process in water drainage networks; analysis of modern ones; materials, laboratory tests; technologies for restoring drainage networks.

On the basis of the performed analysis of the latest works, approaches, and practices devoted to the study of problems in the operation of drainage networks, the problem of increasing the durability of sewage tunnels, which include main and duplicate tunnels, inspection shafts and ring sections, should be solved comprehensively, taking into account the current situation .

The analysis of research by domestic and foreign scientists showed that sewer tunnels of large cities are worn out due to long-term operation, ineffective solutions to protect structures from the influence of an aggressive environment, low-quality materials and structures used during construction. Restoring normative operational characteristics, increasing the durability of sewage tunnels is a costly and technically complex task, the solution of which is urgently needed to prevent accidents, including those with serious environmental consequences. Existing modern technologies of work performance, materials and structures used for repair and restoration works with different efficiency solve these problems, at the same time, the need to reduce costs for repair and restoration works requires the search for cost-effective materials, structures and methods of work in the future.

References

- [1] I. Abramovich, *Seti i sooruzheniya vodootvedeniya. Raschet, proektirovanie, ekspluatatsiya*, Osnova, 2005.
- [2] A.I. Aleynikova, B.S. Sorokin, V.Yu. Sorokina, "Rozrakhunok efektyvnosti vprovadzhennia monitorynhu stiikoho funktsionuvannia kompleksu kanalizatsiinykh merezh i sporud", *Naukovyi visnyk budivnytstva*, vol. 105, pp. 51-57, 2021. doi.org/10.29295/2311-7257-2021-105-3-51-57.
- [3] A. Aleynikova, P. Hulievskiy, I. Voronenko, "Organizational and technological solutions for the repair and restoration of sewage tunnels in the places adjacent to exploration mines", *Komunalne hospodarstvo mist*, vol. 4(178), pp. 118-124, 2023. https://doi.org/10.33042/2522-1809-2023-4-178-118-124.
- [4] S.A. Zabelin, A.I. Aleinikova, "Suchasnyi pidkhid do doslidzhennia biohennoi korozii kanalizatsiinykh kolektoriv", *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoho derzhavnoho universytetu zaliznychnoho transportu*, vol. 172, pp. 20-36, 2017.
- [5] D. Goncharenko, S. Zabelin, A. Aleinikova, A. Anishchenko R. Hudilin, "Development and study of hydmechanical method for cleaning sewage collectors from contamination", *Eastem-European journal of enterprise technologies*, vol. 5/10(95), pp. 40-47, 2018.
- [6] D.F. Goncharenko, O.V. Starkova, A.I. Aleinikova, "Razrabotka avtomatizirovannoi sistemi vibora sposoba vosstanovleniya vodovodov s ispolzovaniem apparata nechetkoi logiki", *Sistemi obrobki informatsii*, vol. 124(8), pp. 18-23, 2014.
- [7] D. Gontscharenko, A. Aleinikova, P. Hulievskiy, A.Ratschkowskij, "Effiziente Nutzung von Basaltelementen in Abwassernetzen", *Korrespondenz Abwasser*, vol. 70(1), pp. 33-35, 2023.
- [8] O.V. Bryhada, *Shliakhy zapobihannia nadzvychainym sytuatsiiam na betonnykh sporudakh vodovidvedennia*, FOP Brovin, 2022.
- [9] Yu.V. Bulgakov, *Razrabotka organizatsionno-tekhnologicheskikh reshenii, povishayushchikh ekspluatatsionnyu dolgovechnost kanalizatsionnikh tonnelnikh kollektorov: diss... kand. tekhn. nauk*, KhNUBA, 2015.
- [10] D.F. Goncharenko, *Ekspluatatsiya, remont i vosstanovlenie setei vodootvedeniya*, Konsum, 2008.
- [11] A.O., Dobryaev, S.A. Zabelin, "Tekhnologicheskie osobennosti stroitelstva kanalizatsionnikh kollektorov s primeneniem polimernikh trub", *Naukovii visnyk budivnitstva*, vol. 57, pp. 502-508, 2011.
- [12] O. Kabus, V. Lykhohrai, "Creation of combined polymer concrete surface layer to increase the efficiency of polymer coatings in sulfuric acid environment", *AIP Conference Proceedings*, vol. 2684(1), 2023. https://doi.org/10.1063/5.0120064.

- [13] V.N. Kis, "Sposob vosstanovleniya i zashchiti napornikh vodovodov s ispolzovaniem polietilenovikh izdelii", *Resursoekonomni materialy, konstruktzii, budivli ta sporudi*, vol. 11, pp. 348-352, 2004.
- [14] I.I. Kurovskii, "Sposob vosstanovleniya i zashchiti kanalizatsionnikh kollektorov s ispolzovaniem nikrolitovikh izdelii", *Rusursoekonomichni materialy, konstruktzii, budivli ta sporudi*, vol. 11, pp. 240-247, 2004.
- [15] A.V. Kovalenko, *Razrobotka tekhnologicheskikh reshenii, povishayushchikh effektivnost rabot pri likvidatsii avarii na kanalizatsionnikh kollektorakh: diss. ... kand. tekhn. nauk. KhGTUSA*, 2002.
- [16] I.V. Korinko, *Nauchnoe obosnovanie i razrobotka organizatsionno-tekhnologicheskikh reshenii, povishayushchikh ekspluatatsionnyu dolgovechnost sistem vodootvedeniya: diss... dokt. tekhn. nauk*, 2003.
- [17] N.K. Rozental, "Korroziya i zashchita betonnikh i zhelezobetonnikh konstruktzii sooruzhenii ochistki stochnikh vod", *Beton i zhelezobeton*, vol. 2, pp. 78-86, 2011.
- [18] O.V. Starkova, "Modeli obosnovannogo vibora metoda remonta i vosstanovleniya uchastka kanalizatsionnoi seti", *Naukovii visnik budivnitstva*, vol. 3(85), pp. 80-85, 2016.
- [19] T. Kostyuk, A. Plugin, O. Starkova, D. Bondarenko, O. Borziak, "Software tools for development of a methodology for selecting construction materials according to their performance characteristics", *AIP Conference Proceedings*, vol. 2684 (1), 2023. <https://doi.org/10.1063/5.0120109>.
- [20] Yu.B. Klein, *Pidvyschennia efektyvnosti remontno-vidnovliuvalnykh robit na kanalizatsiinykh merezhakh, roztashovanykh v vodonasychenykh gruntakh: diss. ... kand. tekhn. nauk, KhNUBA*, 1997.
- [21] A.N. Mezhenskii, P.Ye. Uvarov, "Upravlenie proektami rekonstruktzii vneshnikh truboprovodnikh setei zhilishchno-kommunalnogo khozyaistva", *Rekonstruktziya zhitla*, vol. 5, pp. 138-146, 2004.
- [22] V. Iurchenko, E. Lebedeva, E. Brigada, "Environmental safety of the sewage disposal by the sewerage pipelines", *Procedia Engineering*, vol. 134, pp. 181-186, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.01.058>.
- [23] V. Iurchenko, O. Melnikova, Yu. Levashova, N. Kosenko, "Corrosion of Concrete in a Water Management Structure in Conditions of Biogenic Sulfuric Acid Aggression", *Key Engineering Materials*, vol. 953, pp. 55-62, 2023. <https://doi.org/10.4028/p-0GBXtM>.
- [24] H.O. Damiekin, *Rozrobka tekhnolohichnykh rishen vidnovlennia konstruktzii tunelnykh kolektoriv: diss. ... kand. tekhn. nauk. Kharkiv*, 1997.
- [25] V.V. Zaporozhets, "Vozmozhnost primeneniya keramicheskogo kirpicha i sostavov pronikayushchei gidroizolyatsii dlya remonta i vosstanovleniya smetrovikh shakht setei vodootvedeniya", *Resursoekonomichni materialy, konstruktzii, budivli ta sporudi*, vol. 18, pp. 488-492, 2009.
- [26] V.O. Voronenko, "Tekhnologiya i organizatsiya remonta kanalizatsionnogo shakhtnogo stvola s ispolzovaniem armirovannikh shlakolitikh konstruktzii", *Naukovii visnik budivnitstva*, vol. 36, pp. 35-40, 2006.
- [27] D. Stein, *Practical Guideline for the Application of Microtunneling Methods*, Stein and Partner Germany, 2005.
- [28] J. Horstmann, P. Pfannenschmidt, "Geokunststoffe im Rohrleitungsbau", *Erd – und grundbau*, pp. 29-33, 2002.
- [29] W. Fischer, "Abwasserrohre im Vergleich", *KA – Wasserwirtschaft. Abwasser*, vol. 60(9), pp. 765-772, 2013.
- [30] U. Schmidt, A. Bohatsch, "Massnagmen gegen Geruch und Korrosion im Mindener Kanalnetz umgesetzt", *Korrespondenz Abwasser*, vol. 61(4), pp. 291-297, 2014.

- [31] D. Ufermann, M. Lohse, J. Müller-Rochholz, "Untersuchungen zur Korrosionsbeständigkeit von Selbstverdichtendem Beton unter Schwefelsäureexposition", *Korrespondenz Abwasser*, vol. 57(3), pp. 231-239, 2010.
- [32] R. Stein, "Stand und Einsatzbereiche der Injektionsverfahren bei der Kanalsanierung", *Korrespondenz Abwasser*, vol. 61(5), pp. 386-398, 2014.
- [33] M. Bodo, "Wie nachhaltig sind Kunststoffrohre zur Kanalsanierung", *Wasser. Abwasser*, vol. 1, p. 16, 2010.
- [34] S. Ellerhorst, M. Schröder, B. Wöffen, "Wirtschaftlichkeit von Maßnahmen zur Schadensbehebung im öffentlichen Kanalnetz", *KA – Wasserwirtschaft. Abwasser*, vol. 47(5), pp. 674–680, 2000.
- [35] W. Niederehe, "Statische Tragfähigkeit und Verformungsverhalten von Abwasserkanalrohren", *Wasser-Abwasser*, vol. 148(1), pp. 84–86, 2007.
- [36] R. Kammerer, "Schadenentwicklung in Steinzeugrohren", *Korrespondenz Abwasser*, vol. 59(9), pp. 812–820, 2012.
- [37] D. Mathews, A. Cox, "Polyethylene Encasement for External Corrosion Control for Iron Pipelines", *Florida Water Resources Journal*, vol. 12, pp. 44–49, 2015.
- [38] S. Tambe, S. Jagtap, A. Chaurasiya, K. Joshi, "Evaluation of microbial corrosion of epoxy coating by using sulphate reducing bacteria", *Progress in Organic Coatings*, vol. 94, pp. 49–55, 2016.
- [39] M. Pazoki, "Comparative Evaluation of Poly Urethane and Poly Vinyl Chloride in Lining Concrete Sewer Pipes for Preventing Biological Corrosion", *International Journal of Environmental Research*, vol. 10(2), pp. 305-312, 2016.
- [40] K. Luo, S. Zhang, R. Wang, "The Research Development of Tubular Textile Composites Application on the Trenchless Pipeline Inversion Lining Rehabilitation Technology", *Key Engineering Materials*, vol. 671, pp. 306-314, 2016.
- [41] M.W. Kiliswa, "Composition and microstructure of concrete mixtures subjected to biogenic acid corrosion and their role in corrosion prediction of concrete outfall sewers", *PhD Thesis. University of Cape Town*, 2016.
- [42] T. Gourley, G. Johnson, "The corrosion resistance of geopolymer concrete sewer pipe", *Concrete in Australia*, vol. 43(1), pp. 38-44, 2019. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/336639705_The_Corrosion_Resistance_of_Geopolymer_Concrete_Sewer_Pipe.
- [43] E. Hewayde, G. Nakhla, E. Allouche, P. Mohan, "Beneficial impact of coatings on biological generation of sulfide in concrete sewer pipes", *Structure and Infrastructure Engineering*, vol. 3(3), pp. 267-277, 2007. <https://doi.org/10.1080/15732470500424260>.
- [44] S. Taheri, G.P. Delgado, O. Agbaje, "Corrosion Inhibitory Effects of Mullite in Concrete Exposed to Sulfuric Acid Attack", *Corros. Mater. Degrad.*, vol. 1(2), pp. 282-295, 2020. <https://doi.org/10.3390/cmd1020014>.
- [45] Z. Suligowski, M. Orlovska-Szostak, "Umbau des Abwassersystems von Warschau", *Korrespondenz Abwasser*, vol. 59(1), pp. 20-25, 2012.
- [46] N. Rohem, "Development and qualification of a new polymeric matrix laminated composite for pipe repair", *Composite Structures*, vol. 152, pp. 737-745, 2016.

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ НАУКОВИХ ТА ПРАКТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ В ГАЛУЗІ РОЗПОДІЛЬЧОЇ СИСТЕМИ ВОДОВІДВЕДЕННЯ

¹Алейнікова А.І., д.т.н, доцент,
alevtynaal222@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2486-4263

²Гулевський П.Ю., док. філ.,
gulevskiyp@gmail.com, ORCID: 0000-0002-4164-2101

^{1,2}Вороненко І.В.,
ptokhvo@ukr.net, ORCID: 0009-0006-0109-579

¹Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
вул. Маршала Бажанова, 17, м. Харків, 61002, Україна

²КП «Харківводоканал»,
вул. Конторська, 90, м. Харків, 61052, Україна

Анотація. Розв'язання проблеми забезпечення надійного функціонування систем водовідведення є важливим не лише для вчених нашої країни, але й для науковців усього світу. Оскільки ці системи є критично важливими для життєзабезпечення, їх безперебійна робота має стратегічне державне значення. Особливої актуальності набуває питання збереження та відновлення існуючих підземних комунікацій через посилені екологічні вимоги. Для захисту ґрунтових вод від забруднення агресивними реагентами важливо розуміти причини руйнування конструкцій підземних комунікацій та ефективні методи їх ремонту. У статті проведено аналіз наукових праць що стосуються проблем забезпечення безаварійної експлуатації об'єктів, що входять до комплексу споруд каналізаційних тунелів міста. Згруповано відповідно до напрямку робіт досліджень: дослідження корозійного процесу в мережах водовідведення; аналіз сучасних; матеріалів, лабораторні випробування; технології відновлення мереж водовідведення. Аналіз досліджень стану конструкцій об'єктів; дослідження матеріалів і методів ремонту та відновлення каналізаційних тунелів і оглядових шахт, які на сьогодні з високою ефективністю застосовуються у вітчизняній та зарубіжній практиці; розробку технологічних та організаційних рішень та відновлення зруйнованих каналізаційних конструкцій мереж водовідведення. Аналіз досліджень вітчизняних вчених показав, що каналізаційні тунелі великих міст України зношені внаслідок тривалої експлуатації, не ефективних рішень щодо захисту конструкцій від впливу агресивного середовища, низької якості матеріалів і конструкцій, які застосовувались під час будівництва. Відновлення нормативних експлуатаційних характеристик, підвищення довговічності каналізаційних тунелів витратна і технічно складна задача, вирішення якої гостро необхідне для запобігання аваріям, у тому числі таким, що мають серйозні екологічні наслідки. Існуючі сучасні технології виконання робіт, матеріали та конструкції, що застосовуються для ремонтно-відновлювальних робіт із різною ефективністю, вирішують ці задачі, разом з тим потреба зниження витрат на ремонтно-відновлювальні роботи вимагає пошуку економічно ефективних матеріалів, конструкцій та методів виконання робіт. Аналіз здійснених досліджень показує, що проблема підвищення довговічності конструкцій каналізаційних мереж повинна розв'язуватися комплексно з урахуванням поточної ситуації.

Ключові слова: водовідведення, фактори впливу, технології відновлення, ремонт, актикорозійні покриття, аналіз досліджень.

Стаття надійшла до редакції 2.09.2024

МЕТОДИ І ПРАКТИКИ ВПРОВАДЖЕННЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ РІЗНИХ ТИПІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ І НАУКИ ПРО ДАНІ ДЛЯ РІШЕННЯ ПРОБЛЕМ У ВОДНІЙ ІНФРАСТРУКТУРІ**Левщанов С.В.**

devops8me@proton.me, ORCID: 0009-0004-6624-0928

ФЛП Позаштатний консалтинг

вул. Оболонська, 7, м. Київ, 04071, Україна

Анотація. Предметом дослідження в даній статті була практика впровадження та методика застосування різних типів штучного інтелекту, науки про дані для виявлення витоків з водопровідних мереж, моніторингу станів прісної води та виявлення забруднень, очищення прісних водойм від відходів з підприємств промисловості та видобутку корисних копалин, контроль витрати прісної води та розробка ефективніших методів фільтрації води.

Були визначені переваги та недоліки практики впровадження та застосування технологій різних типів штучного інтелекту та науки про дані для автоматизації традиційних методів виконання робіт з моніторингу, контролю та супутніх робіт в індустрії водного господарства. У статті вирішуються такі завдання: обґрунтування ефективності впровадження технологій різних типів штучного інтелекту та методів науки про дані та їх практичне застосування з програмними та апаратними технологіями для автоматизації традиційних методів виконання робіт у галузі водного господарства.

Для вирішення поставлених завдань була використана методика із застосуванням загальнонаукових та спеціальних методів досліджень – теоретичних (аналіз, пояснення, узагальнення, порівняння).

Використання такого підходу дозволило отримати такі результати: встановлені особливості, що впливають на точність аналізу зібраних даних, що застосовується технологіями різних типів штучного інтелекту та методів науки про дані. Відображено практики та методи більш ефективного та точного застосування даної технології.

Проаналізовано наукові дані. Проведене дослідження дозволило визначити практичні можливості та проблеми, що є в даній технології.

Розроблені рекомендації щодо ефективного використання цієї технології. Виявлені чинники, що впливають ефективно використання цієї технології у промисловості.

Ключові слова: штучний інтелект, наука даних, якість води, виявлення витоків, контроль витрати води.

Вступ. Однією з метою сталого розвитку ООН за номером 6 є «Чиста вода та санітарія». Ця мета передбачає забезпечення вільного доступу до чистої питної води всім людям планети. Туди також входить: підвищення якості води, розширенням доступу до джерел чистої води, вирішення проблем, пов'язаних із браком і забрудненням води. Що має на увазі зміцнення громадського здоров'я, скорочення захворювань, що передаються через воду, та сприяння загальному сталому розвитку [1]. Вода – це важливий природний ресурс для життєдіяльності людської цивілізації, обсяг цього ресурсу обмежений. Запобігання витоку в системах розподілу води важливо для ефективного користування водними ресурсами [2].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Дефіцит води, що розширюється, у всьому світі зачіпає чотири мільярди осіб населення [1]. Внаслідок значного зростання населення світу важливість раціонального управління водними ресурсами зростає через виснаження природних ресурсів як наслідок високого попиту [2]. У середньому близько 30% води, що подається комунальними підприємствами до міських районів, втрачається внаслідок множинних витоків

із труб у процесі розподілу [3, 4]. Тому дуже важливо постійно моніторити якість поверхневих вод [5-7]. Безліч країн у всьому світі мають проблеми з раціональним використанням прісної води через витоки [8]. Безконтрольний видобуток корисних копалин призводить до забруднення річкових водойм прилеглих до кар'єрів та шахт [9]. В останні десятиліття якість води в річках зазнала значного впливу забруднюючих речовин і відходів, що надалі може призвести до серйозних негативних наслідків для людей, водних організмів та навколишнього середовища в цілому [10]. Якість води є необхідною умовою для комфортного проживання як міських, так і сільських жителів, у зв'язку із зростанням глобального забруднення покращення якості водного середовища є пріоритетним напрямом [11]. Забруднення річкових вод нітратами погіршує здоров'я водних екосистем, сприяючи цвітінню водоростей, втраті водного біорізноманіття, а також ризикам для здоров'я та життя людини [12]. Карстові вододіли схильні до впливу як антропогенної, так і природної діяльності, яка впливає на процес стоку та перенесення забруднюючих речовин, а також змінює природний гідрологічний та поживний цикл. На жаль фізичні станції моніторингу є дорогими і трудомісткими, що обмежує їх використання для моніторингу якості води у великому масштабі [13]. Точне прогнозування забруднення води є основою контролю якості водного середовища. Невизначеність вхідних змінних та нестаціонарні та нелінійні характеристики рядів забруднення води перешкоджають точності прогнозування забруднення води [14]. Водні ресурси є основою життя та економічного розвитку людства. Точне прогнозування якості води є ключем до ефективного управління водними ресурсами [15].

Мета завдання дослідження. Галузь має низку проблем у зв'язку з відсутністю широкого впровадження нових технологій та методів. У зв'язку з цим існує необхідність аналізу практик впровадження та застосування нових технологій у різних країнах світу для порівняння з традиційними методами та розуміння специфіки використання нових технологій, їх переваг та проблем. Що надалі допоможе дослідникам та практикам у їх теоретичних та практичних роботах з даної тематики.

Методи дослідження. Для вирішення завдань застосовувалася методологія, що включає використання загальнонаукових та спеціалізованих методів дослідження, таких як теоретичні методи (аналіз, інтерпретація, узагальнення, зіставлення).

Основний матеріал. Вода є головною потребою всіх живих істот планети. Через не раціональне використання прісних водних ресурсів, різні країни світу стикаються з проблемою нестачі води, і ця проблема зростає з кожним роком. Значним чинником цієї проблеми є спосіб життя людей, їх непоінформованість, а також недолік знань [2, 8]. Забезпечення чистою водою споживачів у всьому світі є необхідною умовою для збереження навколишнього середовища та сприяння економічному зростанню [1, 2]. У зв'язку зі зростаючою урбанізацією та індустріалізацією в усьому світі значно збільшилася кількість води, що споживається. Неналежне поводження з природними водними ресурсами спричинило зростання забруднення води [5]. Можливість відстеження забруднення водних джерел є важливим елементом управління навколишнім середовищем, необхідним для забезпечення безпечного водопостачання, підтримки екологічного балансу, сприяння соціальному розвитку [6, 7].

Аналіз проблем. У деяких регіонах втрати води з несправних труб внаслідок витоків можуть досягати 50% від постачання, що призводить до суттєвих соціальних та фінансових втрат. У фінансові втрати входить вартість сирової води, її обробка та доставка. Більше того, витоки погіршують стан мережі труб через корозію та розрив труб, що в подальшому може призвести до пошкодження доріг та фундаментів будівель розташованих поряд з місцями витоків. Більше того, комунальні служби в деяких країнах виставляють рахунки споживачам з урахуванням втрат внаслідок витоків [3, 4].

Наприклад, у такій інфраструктурно розвиненій країні як США, середня сім'я може витратити близько 100 літрів на день через витік води [8].

Витіки так само викликають забруднення джерел води, що надалі має серйозні наслідки, оскільки призводить до спалаху захворювань, що передаються через воду, таких як

холера, дизентерія та черевний тиф, що створює глобальну загрозу для цивілізації [1].

Відомо, що синтетичні забруднювачі, які виникають внаслідок утилізації відходів виробництва в найближчі водні джерела, такі як річки, можуть бути виявлені в питній воді по всьому світу в різних концентраціях [5-7].

З факторів, що впливають на щоденний обсяг використовуваної води, варто виділити такі: регіон люди, які живуть на Близькому Сході, використовують більше води, ніж люди в Америці, Європі, Азії, Африці та Австралії. Клімат – у країнах, де літо є основним сезоном, витрата води більша, ніж у регіонах, де літо не є таким. Розташування – споживачі у містах використовують більше води, ніж споживачі у сільській місцевості [8].

У традиційні методи, які широко використовуються для виявлення витоків, входять акустика, інфрачервона термографія, сигнали датчиків тиску і витрати води, а так само георадари є точковими і ґрунтуються на попередніх припущеннях про місця витоків. Внаслідок цього вони обмежені у своїй здатності ефективно керувати водопровідними мережами. А через високу залежність від використання даних, зібраних датчиками тиску і витрати води, цей підхід схильний до неточностей. Незважаючи на впровадження електронної системи, що допомагає у віддаленій передачі даних про тиск на основі протоколів глобальних систем мобільного зв'язку. Ця система значно обмежена мережами малого масштабу. Чи не були проведені інші дослідження, із застосуванням даного методу у водопровідних мережах великого масштабу [4].

Здебільшого традиційні методи виявлення витоків використовують пасивні підходи, які зазвичай вимагають, щоб обслуговуючий технічний персонал обстежував певну ділянку у пошуках витоків. Що потребує значного часу та ресурсів [3].

На жаль, незважаючи на технологічний прогрес, традиційні методи, як і раніше, широко використовуються для контролю якості води. Незважаючи на те, що ці методи дуже неефективні, внаслідок високої вартості, тривалості та відсутності можливості надання інформації про якість води у режимі реального часу [1, 5].

Вони також вимагають великого збору даних та лабораторного аналізу, що робить їх ще й ресурсомісткими. Більш того, ручні обчислення та лабораторні аналізи великих даних якості води є до того ж трудомістким процесом [6].

У сфері управління водними ресурсами традиційні методи призводять до нерационального розподілу та використання води [9].

Незважаючи на те, що в багатьох розвинених країнах створено технічно просунуті системи моніторингу якості води, ці системи часто стикаються з такими проблемами, як недостатня стабільність моделей та високі вимоги до технічної експертизи. Такі системи відстеження забруднення води включають ручну ідентифікацію, ізотопне відстеження гідрохімічне моделювання. Метод ручного дослідження включає такі процедури, як відбір проб і моніторинг для точного визначення джерел забруднення, але цей метод часто не дає чітких результатів. Гідрохімічне моделювання, засноване на розробці гідрологічних та гідродинамічних моделей, призначене для визначення розташування джерел забруднення, проте цей підхід часто спирається на моделі, які можуть неточно відображати складну динаміку міграції та трансформації забруднюючих речовин [7].

Використання технологій штучного інтелекту та науки про дані дозволяє ефективніше знаходити витоків. Наприклад моделі машинного навчання – локального фактора викиду (LOF) і географічно зваженої регресії (GWR), впроваджені в ГІС-систему виявлення витоків води, окремо показали загальний збіг 80% у наборі даних, що вказує на їх ефективність для визначення витоків [4].

Значну ефективність також показує метод визначення витоків акселерометри і датчики зміни тиску для обробки отриманих даних, що використовує для збору даних у водопровідних мережах використовувалася модель штучної нейронної мережі (ANN). Після ряду поліпшень збільшення кількості джерел даних, точність досягла 86,5% і 86,2%. Це свідчить про ефективність інтеграції кількох джерел даних поліпшення можливостей виявлення витоків. Аналогічно, для петльової конфігурації після об'єднання функцій

точність досягла 82,1% і 82,0%, що підкреслює цінність об'єднання функцій для більш надійного виявлення витоків у складних конфігураціях мереж [2].

Наступний метод використовує для дослідження трубу загальної довжини 42,6 км, що складається з 782 вузлів. Для збору даних використовуються один датчик рівня в баку, три датчики витрати та 33 датчики тиску і модель GNN для обробки даних. Даний метод показує високий результат виявлення витоків, але має неточності через помилкових позитивних результатів, що виникають через ефект витoku, що поширюється по досліджуваній мережі [3].

Технології штучного інтелекту та науки про дані так само ефективно застосовуються для контролю якості води. Наприклад, інтернет речей (IoT) технології якого раніше застосовувалися без технології ШІ не показував постійне поліпшення якості води. Оскільки для ефективного покращення якості води дані, зібрані за допомогою пристроїв IoT, мають бути проаналізовані та інтерпретовані. Для цього етапу необхідно використовувати моделі машинного навчання ML, дозволяючи аналізувати дані в режимі реального часу. Що дає можливість на ранній стадії виявляти та своєчасно реагувати на проблеми з якістю води. Наприклад, застосування алгоритмів машинного навчання як SVR, Xgboost, MLP, LR довело свою ефективність для контролю якості води [1].

Моделі машинного навчання дозволяють аналізувати та моделювати застосування MXenes у технологіях очищення води. У зв'язку з тим, що MXenes – це новий клас графеноподібних двовимірних з'єднань перехідних металів з вуглецем. Його потенціал у сфері очищення води ще повністю не вивчений. Тому моделі машинного навчання відіграють вирішальну роль у точному прогнозуванні властивостей MXenes та керівництві їхньою функціоналізацією для підвищення ефективності очищення води [5].

Моделі машинного навчання необхідно покращувати, для цього застосовується методи ХАІ, які можуть аналізувати моделі двома способами: незалежно від моделі чи специфічно для моделі. Цей підхід дозволяє отримати більш достовірні дані від моделей та підвищити інтерпретованість та прозорість моделей машинного навчання. Як приклади використовуються три моделі машинного навчання: RF, XGBoost та LightGBM. Дослідження показало, що XGBoost показав кращі результати, в той час як RF і LightGBM показали хороші результати, що свідчить про застосування ML у сфері якості води [6].

Моделі машинного навчання також успішно застосовуються для прогнозування потреби людини у воді в день залежно від регіону, сезону, температури, місця розташування, роду занять, релігійних факторів та їх підрозділів. Наприклад, такі моделі ML як Decision Tree і LightGBM показують відмінний результат працюючи спільно з датчиками витрати води та соленідами, що вдалося змоделювати в Tinkercad. для виконання цього завдання в порівнянні з моделями Linear, Ridge, Lasso, ElasticNet, Random Forest, XGBoost (Extreme Gradient Boosting), KNN (K-Nearest Neighbors), SVR (Support Vector Regression), MLP (Multilayer Perceptron), CatBoost, Deep Neural Network, показники яких не показали ефективність у виконанні цієї задачі [8].

Технології штучного інтелекту та науки про дані можуть не лише контролювати забруднення води, а й здійснювати її відновлення з використанням передових технологій. Ефективні методи на основі ШІ дозволяють оптимізувати використання різних технологій очищення, таких як адсорбція, іонний обмін, електрокінетичні процеси, хімічне осадження, фітобіоальна рекультивация та мембранна технологія для ефективного видалення забруднюючих речовин із постраждалих водойм. Ці методи в основному використовуються в районах активного видобутку корисних копалин. Для захисту та очищення довколишніх водних джерел [9].

Для ефективного моніторингу та управління водним середовищем спільно з технологіями ШІ застосовуються різні програмні та апаратні компоненти. Як уже було зазначено вище, цей інтернет речей, а також технології ГІС, дистанційного зондування та БПЛА. Їхня спільна робота дозволяє швидко і точно виконувати поставлені завдання [7].

Навчена модель машинного навчання SVR може прогнозувати нітрати в сільських та міських річкових системах на основі загальних та легковимірюваних гідрохімічних змінних [12].

Модель XGBoost може будувати нелінійну картографічну залежність між даними з кількох джерел про концентрації шкідливих речовин. Що дозволяє забезпечити точне передбачення концентрацій на неконтрольованих ділянках річкової мережі [13].

Гібридна модель RF-CEEMD-LSTM може точно прогнозувати тенденції забруднення води із середньою абсолютною відсотковою помилкою (MAPE) менше ніж 8%, що дозволяє прогнозувати нелінійні та нестационарні послідовності забруднення води [14].

Таблиця 1 – Застосування різних типів технології штучного інтелекту на вирішення різних завдань у галузі водного господарства

Тип	Модель	Застосування	Посилання
MLR		Оцінка процесів адсорбції забруднених водойм	[9]
DL	ANN	Виявляти та локалізувати витoki в системах розподілу води; оцінка процесів адсорбції забруднених водойм; регулювання іонного складу води для видалення важких токсичних; відокремлює небажані матеріали від вихідних розчинів для чищення води або стримування її забруднення; виявлення матеріалів для іоноселективних мембран; прогнозування якості води	[2, 9, 10]
	ANFIS	Оцінка процесів адсорбції забруднених водойм; регулювання іонного складу води для видалення токсичних важких металів	[9]
	GNN	Виявляти та локалізувати витoki в системах розподілу води	[3]
	DNN	Прогнозування якості води	[10]
ML	LOF	Виявлення витоків	[4]
	GWR	Виявлення витоків	[4]
	SVR	Моніторинг якості води; прогнозування якості води	[1, 11, 12]
	MLP	Моніторинг якості води	[1]
	LR	Моніторинг якості води	[1]
	XGBoost	Моніторинг якості води; оцінка та прогнозування якості води	[1, 6, 13]
	RF	Оцінка та прогнозування якості води; прогнозування якості води	[6, 14, 15]
	LightGBM	Оцінка та прогнозування якості води; контроль розподілу води	[6, 8]
	Decision tree	Контроль розподілу води	[8]
	SVM	Виявлення матеріалів для іоноселективних мембран; прогнозування якості води	[9, 10]
		Машинне навчання ефективно взаємодіє з MXene для очищення води	[5]
		Визначення розташування та відстеження забруднення води	[7]

Використовуючи гібридні моделі XGBoost та RF, які використовують метод шумоподавлення даних – повну ансамблеву емпіричну модову декомпозицію з адаптивним

шумом (CEEMDAN). Такий метод дозволяє прогнозувати шість показників якості річкової води. Результати показують, що: CEEMDAN-RF найкраще підходить для прогнозування температури, розчиненого кисню та питомої провідності, а CEEMDAN-XGBoost найкраще підходить для прогнозування значення рН, мутності та флуоресцентної розчиненої органічної речовини [15].

Як видно з табл. 1 найбільш універсальною технологією ШІ, що застосовується для вирішення різних завдань у галузі, є модель штучної нейронної мережі – ANN. Так само варто відзначити ANFIS яка те ж саме як і ANN відноситься до глибокого навчання, XGBoost і LightGBM – моделі є під типами машинного навчання. Вони менш затребуваними ніж ANN, але мають більше функціональність ніж інші моделі, що розглядаються в даному дослідженні.

Результати досліджень. Результати даного дослідження мають наукову новизну, оскільки були визначені переваги та недоліки використання різних типів ШІ за останні чотири роки для різних завдань у галузі водного господарства.

Результати дослідження мають наукове та практичне значення, у зв'язку з виявленням наступної інформації, яка буде корисна як для практикуючих фахівців у їх проектах, так і для дослідників у їх майбутніх роботах. Різні моделі ШІ ефективні для певних завдань, як видно в таблиці 1. Витоку в мережах водопостачання є серйозною проблемою для підприємств водопостачання. Отже, потрібно комплексний підхід що дозволяє своєчасно виявляти коливання у системі, які вказують на виток. Такими методами є технології штучного інтелекту, що взаємодіють з іншими програмними та апаратними компонентами. Таким як інтернет речей є ефективним в управлінні якістю води внаслідок точності, швидкості та безперервності моніторингу, аналізу та прогнозування якості води. Здатність машинного навчання прогнозувати та контролювати витрату води спільно з мікроконтролером. Доводить ефективність застосування цієї технології для вирішення таких завдань.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Незважаючи на всю корисність застосування технологій штучного інтелекту та науки про дані в галузі, у цього методу ще є суттєві недоробки. Набори даних для аналізу повинні бути точні і включати всі необхідні дані, щоб врахувати як найбільше факторів, і зробити прогнозоване значення більш точним, але це, на жаль, не завжди можливо. Тому вкрай важливо покращити методологію збору та обробки великих обсягів даних.

В даний час не існує єдиної технології, яка могла б ефективно і повною мірою вирішувати всі види забруднень. Внаслідок постійного моніторингу та обслуговування пристроїв IoT для забезпечення довговічності та ефективності систем потрібне регулярне калібрування датчиків, заміна зношених компонентів та оновлення програмного забезпечення є важливими методами обслуговування для оптимального функціонування пристроїв IoT та ШІ.

Ця стаття має перспективи подальших наукових досліджень, де потрібно буде вивчити застосування всіх моделей ШІ з великою кількістю наборів даних. Також необхідно буде розробка більш складних моделей ШІ, здатних обробляти великі дані з різних джерел, що підвищить точність та надійність систем виявлення витоків. А, впровадження моделей, що самонавчаються, допоможе системам розвиватися і реагувати на нові моделі витоків з часом більш злагоджено і точно. Дослідження та розробка моделей машинного навчання, здатних ефективно обробляти відсутні або неповні дані, вирішить значну частину існуючих проблем.

References

- [1] I. Essamlali, H. Nhaila, M. El Khaili, "Advances in machine learning and IoT for water quality monitoring: A comprehensive review", *Heliyon*, vol. 10, no. 6, pp. e27920, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e27920>.
- [2] N.M. Mahdi, A.H. Jassim, S.A. Abulqasim, A. Basem, A.A.F. Ogaili, L.A. Al-Haddad, "Leak detection and localization in water distribution systems using advanced feature

- analysis and an Artificial Neural Network", *Desalination and Water Treatment*, vol. 320, p. 100685, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100685>.
- [3] G.Ö. Garðarsson, F. Boem, L. Toni, "Graph-Based Learning for Leak Detection and Localisation in Water Distribution Networks", *IFAC-PapersOnLine*, vol. 55, no. 6, pp. 661–666, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.07.203>.
- [4] D. Elshazly, R. Gawai, T. Ali, M. Mortula, S. Atabay, L. Khalil, "An Automated Geographical Information System-Based Spatial Machine Learning Method for Leak Detection in Water Distribution Networks (WDNs) Using Monitoring Sensors", *Applied Sciences*, vol. 14, no. 13, p. 5853, 2024. DOI: 10.3390/app14135853.
- [5] A. Kour, V. Vidyasagar, M.L. Suresh, Y.A. Baker El-Ebiary, R. Mothukuri, S. Rawat, S.P. Dehankar, M.S. Al Ansari, "Enhancing water purification efficiency through machine learning-driven mxene functionalization", *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, vol. 102, no. 14, pp. 5500–5524, 2024.
- [6] R.K. Makumbura, L. Mampitiya, N. Rathnayake, D.P.P. Meddage, S. Henna, T.L. Dang, Y. Hoshino, U. Rathnayake, "Advancing water quality assessment and prediction using machine learning models, coupled with explainable artificial intelligence (XAI) techniques like shapley additive explanations (SHAP) for interpreting the black-box nature", *Results in Engineering*, vol. 23, p. 102831, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102831>.
- [7] Q. Duan, Q. Zhang, X. Quan, H. Zhang, L. Huang, "Innovations of water pollution traceability technology with artificial intelligence", *Earth Critical Zone*, vol. 1, no. 1, p. 100009, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecz.2024.100009>.
- [8] A.M. Nakib, Y. Luo, J.H. Emon, S. Chowdhury, "Machine learning-based water requirement forecast and automated water distribution control system", *Computer Science & IT Research Journal*, vol. 5, no. 6, pp. 1453–1468, 2024. DOI: 10.51594/csitrj.v5i6.1227.
- [9] E.K. Nti, S.J. Cobbina, E.E. Attafuah, L.D. Senanu, G. Amenyeku, M.A. Gyan, D. Forson, A.-R. Safo, "Water pollution control and revitalization using advanced technologies: Uncovering artificial intelligence options towards environmental health protection, sustainability and water security", *Heliyon*, vol. 9, no. 7, p. e18170, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18170>.
- [10] S. Cojbasic, S. Dmitrasinovic, M. Kostic, M. Turk Sekulic, J. Radonic, A. Dodig, M. Stojkovic, "Application of machine learning in river water quality management: a review", *Water Sci Technol*, vol. 88, no. 9, pp. 2297–2308, 2023. DOI: <https://doi.org/10.2166/wst.2023.331>.
- [11] X. Su, X. He, G. Zhang, Y. Chen, K. Li, "Research on SVR Water Quality Prediction Model Based on Improved Sparrow Search Algorithm", 2022. DOI: <https://doi.org/10.1155/2022/7327072>.
- [12] Y. Yang, X. Shang, Z. Chen, K. Mei, Z. Wang, R.A. Dahlgren, M. Zhang, X. Ji, "A support vector regression model to predict nitrate-nitrogen isotopic composition using hydro-chemical variables", *Journal of Environmental Management*, vol. 290, p. 112674, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112674>.
- [13] G. Xu, H. Fan, D.M. Oliver, Y. Dai, H. Li, Y. Shi, H. Long, K. Xiong, Z. Zhao, "Decoding river pollution trends and their landscape determinants in an ecologically fragile karst basin using a machine learning model", *Environmental Research*, vol. 214, pt. 4, p. 113843, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113843>.
- [14] J. Ruan, Y. Cui, Y. Song, Y. Mao, "A novel RF-CEEMD-LSTM model for predicting water pollution", *Scientific Reports*, vol. 13, art. no. 20901, 2023. DOI: 10.1038/s41598-023-48409-6.
- [15] H. Lu, X. Ma, "Hybrid decision tree-based machine learning models for short-term water quality prediction", *Chemosphere*, vol. 249, p. 126169, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126169>.

METHODS AND PRACTICES FOR IMPLEMENTING AND APPLYING DIFFERENT TYPES OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND DATA SCIENCE TO SOLVE PROBLEMS IN WATER INFRASTRUCTURE

Levshchanov S.V.,

devops8me@proton.me, ORCID: 0009-0004-6624-0928

FLP Freelance consulting

7 Obolonska St., Kyiv, 04071, Ukraine

Abstract. The subject of the study in this article was the practice of implementing and applying various types of artificial intelligence and data science to detect leaks from water supply networks, to monitor freshwater conditions and to detect pollution, clean freshwater bodies from waste from industrial and mining enterprises, control freshwater flow and develop more efficient water filtration methods.

The article identifies the advantages and disadvantages of the practice of introducing and applying various types of artificial intelligence and data science technologies to automate traditional methods of monitoring, control and related work in the water industry. The article addresses the following objectives: to substantiate the effectiveness of implementation of various types of artificial intelligence technologies and data science methods and their practical application with software and hardware technologies to automate traditional methods of performing work in the water industry.

To solve the tasks set, the methodology used was based on general scientific and special research methods, such as theoretical methods (analysis, explanation, generalisation, comparison).

The use of this approach allowed us to obtain the following results: the features that affect the accuracy of the analysis of collected data used by technologies of various types of artificial intelligence and data science methods were identified. Practices and methods for more efficient and accurate application of this technology are reflected.

Scientific data are analysed. The study allowed identifying the practical opportunities and problems of this technology.

Recommendations for the effective use of this technology have been developed. The factors that influence the effective use of this technology in industry are identified.

Keywords: artificial intelligence, data science, water quality, leakage detection, water flow control.

Стаття надійшла до редакції 12.09.2024

LOADS ON SUBMERGED WALLS OF PROTECTIVE STRUCTURES

Voitenko I.V., Ph.D., Associate Professor,
voytinna@ukr.net, ORCID: 0000-0002-9239-8196
Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture
Didrichson, 4, Odesa 65029, Ukraine

Abstract. The intensification of military operations on the territory of Ukraine, which are accompanied by missile attacks and bombing of territories, requires the use of reliable protective structures. Modern codes require the provision of each new building with storage facilities that guarantee the safety of life and health of citizens, so the correct determination of all loads on the structural elements of protective structures is an urgent issue. Taking into account the fact that the previous codes were somewhat outdated and had limited access for a long time, a significant event was the adoption in 2023 of new codes for the design of protective structures of civil defence.

The main requirements and recommendations of SBC B.2.2-5:20023 were taken into account when conducting research on determining the loads on buried walls of bomb shelters. Such structures, as we know, perceive a constant load from the lateral pressure of the soil, which during an explosion is supplemented by an episodic load from the action of an air wave.

Modern specialized literature contains rather limited information on scientific research and development in the field of design of protective structures. An actual issue is also the study of the influence of determining factors on the intensity of the load on the walls of buried protective structures and the possibility of its adjustment in order to reduce it.

Taking into account the nature of the distribution of loads on the underground walls of bomb shelters, a dependence was obtained to determine the resulting active pressure and quasi-static load caused by the action of an air wave.

The pressures from the soil and the blast wave at different orientations of the contact wall and for different types of soil environment were studied. The loads in contact of a smooth and rough wall with sandy, sandy and loamy soils with different indicators of physical and mechanical characteristics were considered.

The obtained results indicate a significant influence of the geometric parameters of the wall and the features of the contact soil on the resulting pressure, which can vary depending on the studied factors by 10-20%, which indicates the possibility of reducing the load on protective structures, operating with the considered indicators.

Key words: protective structure, active soil pressure, quasi-static load from the action of an air wave.

Introduction. Today's reality require a more careful and balanced approach to the design and construction of protective structures. Russian aggression determined the need for safe exploitation of civil and industrial buildings, which resulted in the adoption of new codes requiring the provision of reliable protection structures against dynamic impacts during shelling and bombing of each building object. Thus, there is a need to determine additional loads that arise as a result of an explosive wave and have a short-term, but significant impact on the structural elements of buildings and structures. Fortification structures located in the zone of active hostilities require special attention and comprehensive analysis during design.

It should be noted that until last year, when designing protective structures, somewhat outdated standards, which were based on the requirements of the Soviet era and have lost their relevance were used. Besides, the use of these codes was limited and could not be used in general. In 2023, new construction regulations [1] were adopted, which contain the detailed information and

regulations on the design of civil defense protective structures.

Statement of the problem. The design of protective structures requires a detailed definition of the acting loads and a detailed analysis of the influence of the main factors on their intensity. Determining the parameters of the wall and the soil environment, which can significantly reduce the pressure on the structural elements of the building, make it possible to choose the most optimal configuration of the wall and the type of surrounding soil environment.

Analysis of modern research. Modern specialized literature has a rather limited list of sources that highlight issues related to the design of protective structures, therefore there is an urgent need for a comprehensive study and analysis of issues related to the laws of the propagation of blast waves in various environments, their impact on above-ground and underground structures, and the specifics of the definition of corresponding loads.

The scientific work [2] is devoted to the study of the consequences of the explosion on the surface of the base and in the soil environment when penetrating the rocket with the subsequent development of the blast wave. The authors used numerical modeling of blast wave propagation in soil and the effect of soil-structure interaction through a computationally efficient means using an advanced analysis tool by method of finite elements (LS-DYNA). The results showed that the underground explosion had a significantly greater effect at a greater distance, and the intensity and speed of additional pressure was greater in high-density soils. The research of the blast wave on underground structures in a homogeneous and layered soil environment was conducted, taking into account the reflection and refraction of the blast wave.

The mechanics of the explosive load and its interaction with the soil and underground structures are considered in the article [3], taking into account possible explosion scenarios. Also, the phenomena related to external and internal explosion are explained, such as cavitation, soil compaction, soil liquefaction, multiple reflection, quasi-static gas pressure phase, and Mach stem formation. The authors analyzed the interaction of the soil and the underground structure during the explosion, taking into account various factors, and proposed progressive methods of research on the impact of explosive factors.

The work [4] presents the state of research on the parameters of an air explosion and a ground shock wave, a shallow underground explosion, as well as ground and buried explosion-proof shelters. The phenomenon of Mach self-reflection, loading parameters and empirical blast models as well as damage criteria for buildings subjected to an underground blast and available peak particle velocity (PPV) prediction models are considered. The main parameters necessary for the development of shelter projects are analyzed, taking into account the characteristics of materials, such as a high degree of deformability or plasticity, the use of impact-insulating panels and the mechanism for controlling the formation of cracks. The authors comprehensively consider the explosion phenomenon and the extreme loads on shelters caused by it, analyze the effectiveness of using advanced materials such as fiber concrete, ultra-high-performance concrete, and FRP composites to increase the safe exploitation of protective structures.

The team of authors [5] carried out a technical inspection of the shelter structures of the main building of the Volyn Regional Children's Clinical Hospital in the city of Lutsk with the aim of adding several additional floors. Taking into account the additional load, the load-bearing capacity of the walls and foundations was checked, and a safety margin was established.

In the study [6], a non-linear analysis of an existing industrial four-story reinforced concrete building was carried out in the event of an explosive load in the part where the production unit is located. The explosive load applied in this study is in the form of a positive impulse load of pressure with respect to time. The explosion pressure is rated as the pressure created by an equivalent charge of trinitrotoluene (TNT) calculated in accordance with IS4991 and European Codal specifications. The patterns of deformations of the structural elements due to the explosive load, such as the lifting of the slab, the lateral bending of the beams and the bending of the columns, were determined. In addition, an analysis of the use of additional structures (RC walls and X-strings) was performed to evaluate the most effective combination of retrofits applied to reduce the probability of failure and increase the blast resistance of the industrial structure.

The study [7] considered a model for calculating the penetration of projectiles, the impact of mines and aerial bombs into the thickness of the soil lying around a multi-layered shelter, which consists of a covering material, a mattress, a distribution layer and a supporting structure. The authors presented the main provisions of the scientific and methodological approach to the calculation of multi-layered underground protective structures and the study of the impact of projectiles on them. Calculations of the main protective elements are given, the influence of the main factors on their effectiveness is analyzed. It was established that the depth of penetration of the projectile into the ceiling depends on the shape of the main part of the projectile, its mass, diameter, speed and angle of immersion in the protective layers.

In [8], the effect of seismic isolation of the foundation on the intensity of the explosive load is considered. Linear and non-linear analysis methods were used to compare the dynamic behavior of school buildings designed with and without base rubber isolators with lead cores. A numerical assessment of explosive loads at different distances and their impact on structures was carried out. Numerical analysis was carried out using the SAP2000 software based on the finite element method. As a result of the study, it was concluded that structures with basic insulators effectively reduce the consequences of the explosion at certain distances, and these distances will affect the design of the shelter walls.

The authors [9] analyzed detonation and deflagration explosions and their impact on buildings, taking into account the excess pressure from the air shock wave. The determined loads on the structural elements of the protective structure when it is above ground, semi-submerged and buried are placed under the most unfavorable operating conditions of the structural elements. The obtained results indicate that the calculated load can be both significantly greater than the excessive pressure when the protective structure is located above ground, and less when it is located underground.

In work [10], modern fortifications of various purposes and locations are considered. The authors emphasize the insufficiency of fundamental theoretical and experimental research in the field of construction of fortifications. As a result of the analysis of the most common fortification structures, the authors conclude that it is necessary to use reinforced concrete structures to ensure reliable and effective protection.

The developers in [11] proposed a new effective and reliable construction of a structure of civil defense, which consists of an underground part made of monolithic reinforced concrete and a cover made of prefabricated reinforced concrete arches. The work presents the method of calculating all structural elements taking into account the additional pressure from the blast wave, including considering the load from the soil pressure and the equivalent load from the pressure of the shock wave on the underground part of the protective structure.

The team of authors [12] proposed a new analytical method based on the formulation of equations of the limit equilibrium of the soil backfill for the spatial problem in order to determine the active pressure of the soil on the retaining wall under conditions of explosive loading. Numerical studies were carried out for three types of soils under the same dynamic loads. The results are presented in tabular and graphic form with a comparison of pressure at one point, which allowed to assess the influence of the physical and mechanical characteristics of the soil on the blast pressure, the features of the interaction of the retaining wall with different soil environments under conditions of additional dynamic load, and to assess the consequences of the explosion on the structure of the retaining walls.

The article [13] presents the results of a numerical study of the influence of the geometric parameters of the retaining wall and backfill on the magnitude of the lateral pressure of an anisotropic heterogeneous soil environment, which indicate that by correcting the specified parameters, it is possible to reduce the soil pressure significantly.

A review of scientific publications indicates the need to study the influence of the parameters of contact media on the intensity of soil pressure during the action of an explosive air wave on the underground walls of bomb shelters.

The purpose of the study: the analysis of the influence of the main factors (type and physical and mechanical parameters of the soil base, configuration and roughness of the surface of the underground wall of the protective structure), determining the intensity of the lateral pressure of the soil, taking into account the additional pressure from the air shock wave on the underground walls of the protective structures.

Presentation of the main research material. The design of reliable bomb shelters requires the determination of loads on underground walls from constant soil pressure and temporary additional load during the passage of an air wave. According to (clause 14.1.1.1 [1]) the structure of protective buildings one must design on the influence of combinations of loads in stable (main) and emergency design situations, taking into account the quasi-static load from the action of an air shock wave, according to the class or group of the protective structure.

Limit calculated value of quasi-static load $q_{ex,d}$ is recommended to accept in an emergency combination of loads with a combination factor equal to 1.0 (14.1.1.3 [1]), taking into account its episodic nature, and determine according to the formula (14.1.1.2 [1]):

$$q_{ex,d} = \gamma_{fm} \times q_{ex,eqv}, \quad (1)$$

$q_{ex,eqv}$ – the quasi-static characteristic load, which for the horizontal quasi-static load when calculating external walls is determined by the formula (14.1.3.4 [1]):

$$q_{ex,eqv} = P_{max} \times K_D \times K_0, \quad (2)$$

where P_{max} is the reduced horizontal load, kPa, which is determined depending on the scheme of application to the structure of protective buildings.

Since the work is devoted to the determination of loads on underground walls, scheme "a" was adopted as the main one (Fig. 14.1 [1]), which corresponds to the full depth of the built-in protective structure, i.e. $P_{max} = P_2$. Reduced load according to (14.1.2.1 [1]) is assumed to be uniformly distributed over the area and applied normally (perpendicularly) to the wall surface.

The horizontal reduced load on the external wall elements is determined by the formula (Table 14.2 [1]):

$$P_2 = K_\sigma \times \Delta P_{ex}, \quad (3)$$

where K_σ – the coefficient accepted according to table 14.3 [1] depending on the soil characteristics in accordance with the standards for the design of foundations of buildings and structures: $K_\sigma = 0.4$ for sands with a water saturation coefficient $S_r < 0.5$, $K_\sigma = 0.5$ for sands with a water saturation coefficient of $0.5 < S_r < 0.8$; sandy loams with a fluidity index of $I_L < 1$; loams and clays with flow rates $I_L < 0.75$;

$K_\sigma = 0.6$ for loams and clays with flow rates $0.75 < I_L < 1$;

ΔP_{ex} – calculated excess pressure, which is taken in accordance with tables A.1 of Appendix A [1], depending on the protective properties and the class of protective structures. For objects located within the project development of territories and settlements, assigned to the relevant groups of civil protection (storage class A-IV) $\Delta P_{ex} = 100$ kPa;

K_D is the coefficient of dynamism, which is taken according to table 14.9 [1] depending on the calculation scheme; $K_D = 1$ for embedded walls (calculation condition IA).

K_0 is a coefficient that takes into account the change in pressure on the walls due to the horizontal component of the mass velocity of soil particles, attenuation of the compression wave with depth, and pressure reduction due to the movement of the structure and deformation of the walls. For recessed and rammed walls, the value of the coefficient $K_0 = 0.8$ when calculating according to the calculation condition IA (14.1.3.4 [1]).

γ_{fm} is the load reliability coefficient, which is taken for the limit design value of the quasi-static load equal to 1 (14.1.1.2 [1]).

Taking into account dependencies (1, 2 and 3), the calculated horizontal quasi-static load on the walls of the bomb shelter is determined by the formula:

$$q_{ex,d} = \gamma_{fm} \times K_\sigma \times \Delta P_{ex} \times K_D \times K_0. \quad (4)$$

The study of loads was carried out for the underground wall of the protective structure, which is in contact with soil environments consisting of sandy, sandy and loamy soils. By substituting the

appropriate parameters into formula (4), the intensity of the calculated horizontal load is obtained:

- for sand: $q_{ex,d} = 1 \times 0,4 \times 100 \times 1 \times 0,8 = 32$;
- for sandy loam: $q_{ex,d} = 1 \times 0,5 \times 100 \times 1 \times 0,8 = 40$;
- for loam: $q_{ex,d} = 1 \times 0,6 \times 100 \times 1 \times 0,8 = 48$.

Permanent loads acting on buried structures include the lateral pressure of the soil, the intensity of which depends on the physical and mechanical characteristics of the soil base and the structural features of the structures.

Earlier [14], dependencies were obtained for determining the lateral pressure of heterogeneous soil on massive supporting structures, taking into account the anisotropy of the mechanical characteristics of the soil environment. A flat problem was considered, the solution of which was based on the main premises of the classical theory of S. Coulomb. The active pressure component is the sum of the components, which reflect the influence of mass forces in the volume of the boundary soil prism, surface load and internal cohesion forces respectively, which are determined according to Caco's theorem:

$$E_a = \gamma \cdot h^2 \cdot N_\gamma \cdot (1 + N_{cor}) + q \cdot h \cdot N_q + c(\beta_1) \cdot h \cdot N_c \quad (5)$$

where γ – the specific gravity of the soil in contact with the wall;

h is the height of the wall when it is projected vertically;

$c(\beta_1)$ – the basic adhesion on the soil surface at its orientation β_1 ;

q – the evenly distributed load on the soil surface ;

N_{cor} – the correction coefficient;

N_γ, N_q, N_c are coefficients reflecting, respectively, the weight factor, the surface load on the soil prism, and the internal adhesion forces.

For conducting a numerical experiment, a steep wall with a height of 5 meters was considered with its vertical and inclined orientation at the inclination angle β_3 , which was equal to 260° , 270° and 280° , respectively (Fig. 1).

Taking into account the responsibility of protective structures, the most acceptable structure that can be recommended as an enclosure is a "wall in the soil", which is currently quite common in construction practice. According to (clause 9.3.2 [15]) structures of this type should be designed taking into account horizontal loads from soil pressure.

Assuming the condition of a flat task, which corresponds to most underground structures of protective buildings, let's determine the concentrated force of pressure from a quasi-static load at a vertical wall ($\beta_3 = 270^\circ$):

- with a sandy contact soil environment:

$$Q_{ex} = q_{ex,d} \times h = 32 \times 5 = 160 \kappa H ;$$

- with a sandy loam contact soil environment:

$$Q_{ex} = q_{ex,d} \times h = 40 \times 5 = 200 \kappa H ;$$

- with a loamy contact soil environment:

$$Q_{ex} = q_{ex,d} \times h = 48 \times 5 = 240 \kappa H .$$

Concentrated pressure force from a quasi-static load at an inclined wall ($\beta_3 = 260^\circ$, $\beta_3 = 280^\circ$):

- with a sandy contact soil environment:

$$Q_{ex} = q_{ex,d} \times h / \cos 10^\circ = 32 \times 5 / \cos 10^\circ = 162,56 \kappa H ;$$

- with a sandy loam contact soil environment:

$$Q_{ex} = q_{ex,d} \times h / \cos 10^\circ = 40 \times 5 / \cos 10^\circ = 203,2 \kappa H ;$$

- with a loamy contact soil environment:

$$Q_{ex} = q_{ex,d} \times h / \cos 10^\circ = 48 \times 5 / \cos 10^\circ = 243,84 \kappa H .$$

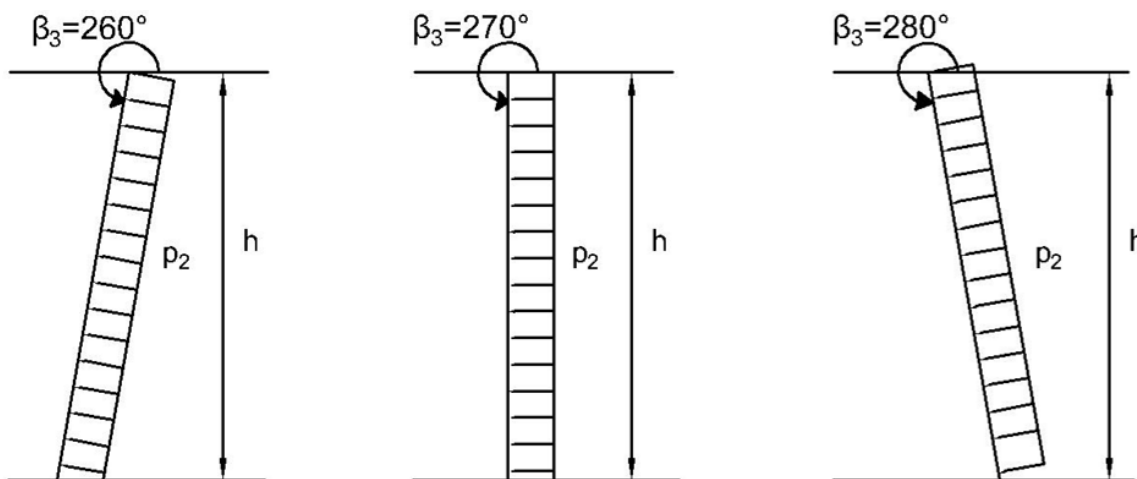


Fig. 1. The calculation scheme for determining the loads on the wall

The active pressure of the soil was determined using a computer program for a smooth and rough wall, while the coefficient of roughness $\delta = 0.3\varphi$, where φ is the angle of internal friction of the soil.

Sandy and clayey soils with the following physical and mechanical characteristics were considered as contact media:

1. Medium-grained sand: $\gamma = 16 \text{ kN/m}^3$, $\varphi = 37^\circ$, $c = 2 \text{ kPa}$;
2. Medium-grained sand: $\gamma = 16 \text{ kN/m}^3$, $\varphi = 37^\circ$, $c = 0 \text{ kPa}$;
3. Coarse sand: $\gamma = 17.5 \text{ kN/m}^3$, $\varphi = 41^\circ$, $c = 0 \text{ kPa}$;
4. Sandy loam: $\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$, $\varphi = 24^\circ$, $c = 10 \text{ kPa}$;
5. Loam: $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$, $\varphi = 12^\circ$, $c = 12 \text{ kPa}$.

To analyze the combined effect of lateral soil pressure and pressure (Fig. 2) due to the blast wave, a formula was obtained for determining the resultant of these pressures $Q_{ex,e}$ (Fig. 3):

$$Q_{ex,e} = \sqrt{E_a^2 + Q_{ex}^2 + 2E_a \times Q_{ex} \cos \delta}, \quad (6)$$

where E_a is the active soil pressure;

Q_{ex} – the pressure on the wall from a quasi-static load.

δ is the roughness angle of the wall.

The results of the calculations are presented in Tables 1 and 2.

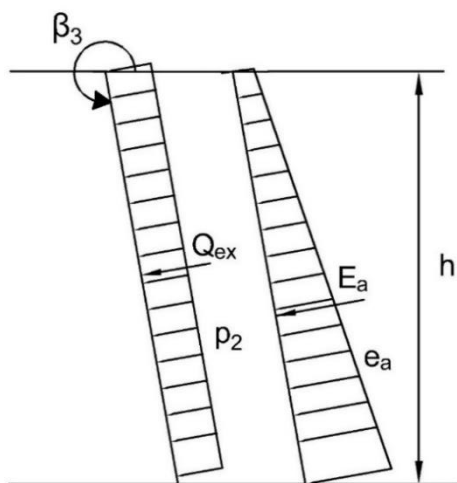


Fig. 2. The load on the wall from active pressure and blast wave

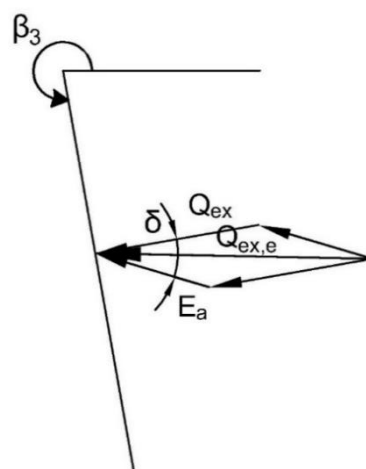


Fig. 3. The calculation scheme for determining the resulting $Q_{ex,e}$

Table 1 – The load from lateral soil pressure and quasi-static blast wave pressure on a smooth wall in its vertical and inclined orientation

$\beta_3 = 260^\circ$			$\beta_3 = 270^\circ$			$\beta_3 = 280^\circ$		
E_a	Q_{ex}	$Q_{ex,e}$	E_a	Q_{ex}	$Q_{ex,e}$	E_a	Q_{ex}	$Q_{ex,e}$
1. Medium-grained sand: $\gamma = 16 \text{ kN/m}^3$, $\varphi = 37^\circ$, $c = 2 \text{ kPa}$								
26.52	162.56	189.08	39.73	160.0	199.73	54.81	162.56	217.37
2. Medium-grained sand: $\gamma = 16 \text{ kN/m}^3$, $\varphi = 37^\circ$, $c = 0 \text{ kPa}$								
37.51	162.56	200.07	49.70	160.0	209.70	64.03	162.56	226.59
3. Coarse sand: $\gamma = 17.5 \text{ kN/m}^3$, $\varphi = 41^\circ$, $c = 0 \text{ kPa}$								
32.65	162.56	195.21	45,42	160.0	205.42	60,60	162.56	223.16
4. Sandy loam: $\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$, $\varphi = 24^\circ$, $c = 10 \text{ kPa}$								
3.03	203.2	206.23	24.68	200.0	224.68	46.32	203.20	249.52
5. Loam: $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$, $\varphi = 12^\circ$, $c = 12 \text{ kPa}$								
24.65	243.84	268.49	50.37	240.0	290.37	75.02	243.84	318.86

Table 2 – The load from lateral soil pressure and quasi-static blast wave pressure on a rough wall with its vertical and inclined orientation

$\beta = 260^\circ$			$\beta = 270^\circ$			$\beta = 280^\circ$		
E_a	Q_{ex}	$Q_{ex,e}$	E_a	Q_{ex}	$Q_{ex,e}$	E_a	Q_{ex}	$Q_{ex,e}$
1. Medium-grained sand: $\gamma = 16 \text{ kN/m}^3$, $\varphi = 37^\circ$, $c = 2 \text{ kPa}$								
24,18	162.56	186.35	36.98	160.0	196.42	52.03	162.56	213.85
2. Medium-grained sand: $\gamma = 16 \text{ kN/m}^3$, $\varphi = 37^\circ$, $c = 0 \text{ kPa}$								
34,21	162.56	196.24	46.30	160.0	205.63	60.85	162.56	222.58
3. Coarse sand: $\gamma = 17.5 \text{ kN/m}^3$, $\varphi = 41^\circ$, $c = 0 \text{ kPa}$								
29.82	162.56	191.80	42,43	160.0	201.66	57.83	162.56	219.41
4. Sandy loam: $\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$, $\varphi = 24^\circ$, $c = 10 \text{ kPa}$								
2.79	203.20	205.97	22.99	200.0	222.83	43.80	203.20	246.72
5. Loam: $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$, $\varphi = 12^\circ$, $c = 12 \text{ kPa}$								
23,28	243.84	267.08	48.02	240.0	287.94	72.15	243.84	308.38

Conclusions. The results of the study indicate the influence of the physical and mechanical characteristics of the soil, as well as the configuration of the contact face of the wall and its roughness on the resulting pressure from the soil and the quasi-static pressure caused by the air blast wave. Thus, the maximum pressure is obtained for a smooth wall with orientation $\beta_3 = 280^\circ$ in contact with loam, the minimum total load corresponds to the orientation of the wall $\beta_3 = 260^\circ$ when it comes into contact with a sandy soil environment (medium-grained sand characterized by low adhesion), and the difference between them is 17%.

The maximum value of the resulting pressure from the soil and the blast wave within the same soil environment corresponds to the orientation of the wall $\beta_3 = 280^\circ$, while exceeding the minimum pressure corresponding to $\beta_3 = 260^\circ$ by 10-20%. With the same orientation of the wall, the maximum pressure values that correspond to the contact soil medium of loam exceed the corresponding minimum values for sand with little cohesion by 1.4-1.5 times.

Thus, the optimal option for a buried wall of a protective structure is a rough structure with its orientation $\beta_3 < 270^\circ$ and a contact medium formed by medium-sized sand, characterized by little adhesion.

Undoubtedly, the study of loads on bomb shelter walls needs further development. The interaction of a wall with a heterogeneous soil under excessive pressure is of some interest, taking into account the peculiarities of its passage through different environments, the nature of its refraction and reflection, taking into account the physical and mechanical characteristics of the soil. The codes [1] do not contain recommendations for adjusting soil strength parameters under conditions of explosive impact. The application of normative recommendations regarding the

adhesion and the angle of internal friction under the condition of dynamic impact during an earthquake is not correct, taking into account the fact that seismic waves originate in the earth's crust, and the blast wave is usually generated in the air.

Thus, by manipulating the parameters of the wall and artificially creating a contact soil environment with appropriate strength indicators, it is possible to reduce the pressure on the underground walls of protective structures significantly.

Perspectives for further research. Taking into account the layered nature of soil deposits, which is characteristic of most natural bases, the perspective of further research is related to the determination of loads on underground structures of protective buildings when passing a shock blast wave in a heterogeneous contact soil environment.

References

- [1] DBN V.2.2-5:2023. Zakhysni sporudy tsyvilnoho zakhystu. K.: Ministerstvo rozvytku hromad, terytorii ta infrastruktury Ukrainy, 2023.
- [2] M.R. Abir, D. Arumugam, B.D. Sekaran, & T. R. Subash, "Numerical simulation of blast wave propagation in layered soil featuring soil-structure interaction", *Proceedings of the 6th ECCOMAS Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering*, pp. 4752-4765, 2017. <https://doi.org/10.7712/120117.5759.16936>.
- [3] J. Mandal, M.D. Goel, A.K. Agarwal, "Underground structures subjected to various blast loading scenarios: A scoping review", *Archives of Computational Methods in Engineering*, vol. 29, no 4, pp. 2491-2512, 2022. <https://doi.org/10.1007/s11831-021-09664-w>.
- [4] S.M. Anas, M. Alam, M. Umair, "Air-blast and ground shockwave parameters, shallow underground blasting, on the ground and buried shallow underground blast-resistant shelters: A review", *International Journal of Protective Structures*, vol. 13, no 1, pp. 99-139, 2022. <https://doi.org/10.1177/20414196211048910>.
- [5] S.V. Rotko, I.O. Parfentieva, R.V. Pasichnyk, O.A. Uzhehova, O.S. Chapiuk, "Perevirka mitsnosti stin ta osnov ukryttia dlia rozrobky planu rekonstruktsii holovnoho korpusu volynskoi oblasnoi dytiachoi klinichnoi likarni", *Suchasni tekhnolohii ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi*, no. 19, pp. 162-170, 2023. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2023-9\(19\)-19](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2023-9(19)-19).
- [6] P.U. Dodamani, Y.K. Guruprasad, "Improved blast resistance of existing industrial building adopting global and local retrofit strategies", in *Lecture Notes in Civil Engineering*, Singapore: Springer Nature Singapore, 2023, pp. 553-563. https://doi.org/10.1007/978-981-19-3371-4_47.
- [7] V. Kotsiuruba ta in., "Metodychnyi i naukovyi pidkhid do protsesu rozrakhunku bahatosharovoi pidzemnoi zakhysnoi sporudy", *Opir mater. i teor. sporud*, no. 107, pp. 159-169, 2021. <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2021.107.159-169>.
- [8] E. Toplu, O. Kirtel, "Performance of Base-Isolated RC School Building under Blast Loading", *Appl. Sci. (Basel)*, vol. 13, no. 9, p. 5529, 2023. <https://doi.org/10.3390/app13095529>.
- [9] L. Skoruk, O. Zhuravskiy, "Vyznachennia velychyny navantazhennia na zakhysni sporudy tsyvilnoho zakhystu vid vplyvu udarnoi khvyli zghidno DBN V.2.2 -5:2023", *Prostorovyi rozvytok*, no. 7, pp. 286-296, 2024. <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2024.7.286-296>.
- [10] S.V. Filipchuk, O.I. Nalepa, A.O. Holub, D.Ya. Baran, "Analiz isnuiuchykh arkhitekturno-konstruktyvnykh rishen zakhysnykh fortyfikatsiinykh sporud", *Resursoekonomni materialy, konstruktsii, budivli ta sporudy*, no. 43, pp. 228-237, 2023. <https://doi.org/10.31713/budres.v0i43.25>.
- [11] Ye.M. Babych, V.D. Kochkarov, S.V. Filipchuk, B.V. Karavan, "Konstruktyvni rishennia ta rozrakhunky elementiv zakhysnykh sporud tsyvilnoho zakhystu z zalizobetonnyimi arochnymi pokryttiamy", *Resursoekonomni materialy, konstruktsii, budivnytstva ta sporudy : zbirnyk naukovykh prats*. Rivne, Volynski oberehy, 2022, pp.162-176.

- [12] V. Doroševs, "Analytical method for analysis of interaction of retaining wall backfilled with soil under explosion loading", *Mechanika*, vol. 24, no. 1, pp. 74-79, 2018. <https://doi.org/10.5755/j01.mech.24.1.19448>.
- [13] Y. Vynnykov, I. Voitenko, "Influence of the rear verge configuration of the retaining wall and surface of backfill on active pressure of heterogeneous anisotropic soil", *Proceedings of the 3rd International Conference on Building Innovations*, Springer International Publishing, vol. 181, pp. 415-427, 2022. https://doi.org/10.1007/978-3-030-85043-2_39
- [14] I. Voitenko, "Estimation of influence of strength anisotropy in problems of interaction of the retaining wall with heterogeneous foundations", *East European scientific journal*, vol. 74, no. 8, pp. 21-26, 2016.
- [15] DBN V.2.1-10:2018. Osnovy i fundamentey budivel i sporud. Osnovni polozhennia. K.: Minrehionbud Ukrainy, 2018.

НАВАНТАЖЕННЯ НА ЗАГЛИБЛЕНІ СТІНИ ЗАХИСНИХ СПОРУД

Войтенко І.В., к.т.н., доцент,
voytinna@ukr.net, ORCID: 0000-0002-9239-8196
Одеська державна академія будівництва та архітектури
вул. Дідріхсона, 4, м. Одеса 65029, Україна

Анотація. Активізація воєнних дій на території України, які супроводжуються ракетними обстрілами і бомбардуванням територій, обумовлює необхідність застосування надійних захисних споруд. Сучасні норми вимагають забезпечення кожної новобудови сховищами, які гарантують збереження життя і здоров'я громадян, тому актуальним питанням є коректне визначення всіх навантажень на конструктивні елементи захисних споруд. Зважаючи на те, що попередні норми були дещо застарілими і на протязі тривалого часу мали обмежений доступ, значущою подією було прийняття в 2023 році нових норм щодо проектування захисних споруд цивільного захисту.

Основні вимоги і рекомендації ДБН В.2.2-5:20023 були враховані при проведенні досліджень стосовно визначення навантажень на заглиблені стіни бомбосховищ. Такі конструкції, як відомо, сприймають постійне навантаження від бічного тиску ґрунту, яке при вибуху доповнюється епізодичним навантаженням від дії повітряної хвилі.

Сучасна спеціалізована література містить доволі обмежену інформацію щодо наукових досліджень і розробок в сфері проектування захисних споруд. Актуальним питанням також є вивчення впливу визначальних факторів на інтенсивність навантаження на стіни заглиблених захисних споруд і можливості його регулювання з метою зменшення.

Враховуючи характер розподілення навантажень на підземні стіни бомбосховищ, була отримана залежність для визначення результуючої від активного тиску і квазістатичного навантаження, обумовленого дією повітряної хвилі.

Досліджувались тиски від ґрунту і вибухової хвилі при різних орієнтаціях контактної стіни і для різних типів ґрунтового середовища. Розглядалися навантаження при контакті гладкої і шорсткої стіни з піщаними, супіщаними і суглинистими ґрунтами з різними показниками фізико-механічних характеристик.

Отримані результати свідчать про суттєвий вплив геометричних параметрів стіни і особливостей контактної ґрунту на результуючу тисків, яка може змінюватись в залежності від досліджуваних факторів на 10-20%, що свідчить про можливість зменшувати навантаження на захисні споруди, оперуючи розглянутими показниками.

Ключові слова: захисна споруда, активний тиск ґрунту, квазістатичне навантаження від дії повітряної хвилі.

Стаття надійшла до редакції 17.06.2024

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ у збірнику наукових праць “Сучасне будівництво та архітектура”

До опублікування у фаховій збірці наукових праць приймаються раніше не опубліковані наукові статті, із зазначеною нижче **тематикою публікацій**:

1. Архітектура.
2. Будівельні конструкції.
3. Будівельні матеріали та технології.
4. Гідротехнічне та транспортне будівництво.
5. Інженерні мережі та обладнання.
6. Основи та фундаменти.
7. Технологія та організація будівельного виробництва.

Стаття повинна відповідати тематиці збірника, публікуватися вперше і включати такі елементи:

- актуальність та постановку проблеми у загальному вигляді, її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями;
- аналіз останніх досліджень і публікацій, у яких представлено вирішення даної проблеми і на які спирається автор; виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, яким присвячується дана стаття;
- формулювання мети статті (постановка завдання);
- виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів;
- висновки з даного дослідження і перспективи подальшого розвитку у даному напрямку;
- список літератури.

Загальні вимоги до оформлення тексту

Статті подаються в електронному вигляді файлом Word 97 – 2003 в форматі .doc. Назва файлу має містити номер тематики публікації та прізвище першого автора (наприклад, 5 Іванов.doc).

Статті подаються українською чи англійською мовою і друкуються мовою оригіналу.

Текстова частина статті набирається на аркушах формату **A4** шрифтом **Times New Roman 12 пт** через одинарний інтервал, вирівнюється по ширині сторінки, поля по 2 см з усіх боків, абзацний відступ – 1,0 см. **Обсяг статті 7-16 повних сторінок разом з анотаціями.**

Структура статті:

- *індекс УДК* (вирівняно по лівому краю без абзацного відступу, прописний, напівжирний);
- *назва статті* (відцентрована, усі літери прописні, напівжирні, переноси не допускаються);
- *прізвище, ініціали всіх авторів, науковий ступінь, вчене звання* (вирівняно по правому краю, прізвище – напівжирний; ступінь і звання – рядковий);
- *повна назва вищого навчального закладу чи організації* (курсив, вирівняно по правому краю; якщо автори з різних навчальних закладів, то кожен автор з окремого рядка);

- *електрона пошта* (вирівняно по правому краю та поряд унікальний номер ORCID);
- *анотації до статті* (абзацний відступ, назва напівжирна, анотації пишуться двома мовами: українською і англійською).

Текст першої анотації пишеться мовою основного тексту статті та повинен бути **не менш як 1800 знаків**.

Текст другої анотації, якщо видання не є повністю англійськомовним, кожна публікація не англійською мовою супроводжується анотацією англійською мовою обсягом **не менш як 1800 знаків**. Якщо видання не є повністю українськомовним, кожна публікація не українською мовою супроводжується анотацією українською мовою обсягом **не менш як 1800 знаків**. Друга анотація розміщується в кінці статті після списку літератури на англійській мові.

Дві анотації повинні коротко повторювати структуру статті, що включає вступ, мету, методику, результати, висновок. Машинний переклад **не дозволяється**.

- *ключові слова* (міжрядковий інтервал не робиться, абзацний відступ, назва напівжирна, текст ключових слів не більше 6–8 слів).

Назва статі, прізвище і ініціали, науковий ступінь, вчене звання, місце роботи, анотація і ключові слова – повторюються українською та англійською мовами.

Між рядками з індексом УДК, назвою статі, прізвищем авторів, анотацією, основним текстом і переліком літератури, літературою на англійській мові та другою анотацією одинарний інтервал.

- *Основний текст статті*.

Структура основного тексту статті згідно з постановою ВАК України № 7-05/1 від 15.01.2003 р. (Бюлетень ВАК України №1, 2003 р.) повинна мати такі необхідні елементи (*назви структурних елементів в тексті статті потрібно виділити напівжирно*):

- вступ (постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими чи практичними завданнями);

– аналіз останніх джерел досліджень і публікацій, у яких започатковано розв'язання проблеми (бажано, щоб це був аналіз останніх публікацій у фахових журналах) і на які опирається автор, виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми, яким присвячується стаття;

- постановка мети та завдання (формулювання мети та завдань досліджень);

– матеріали та методи дослідження (опис використаних матеріалів та методів дослідження проблеми, що розглядається у статті);

– основний матеріал і результати (виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів);

– висновки (наукова новизна, наукове та практичне значення результатів дослідження, перспективи подальших наукових розроблень);

– *література* (відцентрована, напівжирна; посилання в тексті подають у квадратних дужках [2]; список літератури наводиться відповідно порядку посилань у тексті згідно з ДСТУ 8302:2015 та записується в стовпчик; написання «Джерела інформації», «Перелік літератури» **не допускається**). Бібліографічний список наводиться мовою оригіналу та транслітерується. Кількість посилань на літературні джерела у статті повинно бути не менше 15 джерел. Особлива увага приділяється сучасним англійськомовним статтям, зокрема індексованих WoS або Scopus.

– *бібліографічний список (References)*. Для відтворення українських власних назв засобами англійської мови при перекладі публікації англійською мовою застосовується транслітерація. Найменування організацій та установ, що не перекладаються на англійську мову, також транслітеруються. Транслітерація прізвищ авторів виконується залежно від мови оригіналу джерела відповідно до вимог Постанови Кабінету Міністрів України від 27.01.2010 р. № 55 «Про впорядкування транслітерації українського алфавіту латиницею». Бібліографічний список повинен бути оформлений з використанням стилю *IEEE STYLE* згідно з «Міжнародним стилем цитування та посилання в наукових роботах», Київ, 2016.

Таблиці слід виконувати в редакторах Word без заливання. Кожна таблиця має бути надрукована з відповідним заголовком та нумерацією після першого посилання на неї.

Ширина таблиць не повинна перевищувати поля сторінки. Шрифт в таблиці повинен відповідати шрифту статті.

Формули мають бути виконані в редакторі формул *Equation 3.0* чи *MathType* з використанням тільки загальноприйнятих шрифтів (Times New Roman; Symbol). Кожна формула набирається як один об'єкт, нумерація формул арабськими цифрами справа в дужках вирівняна по ширині сторінки.

Рисунки (діаграми, фото), подаються у чорно-білому, кольоровому варіанті або у градаціях сірого кольору після першого посилання на них; мають бути згруповані та являти собою один графічний об'єкт; мати нумерацію та підпис позначення ось координат. Розміри підписів на рисунку повинні відповідати шрифту Times New Roman 12 пт.

Разом зі статтею подаються:

- відомості про автора (авторська довідка): прізвище, ім'я, по батькові (повністю); вчене звання, вчений ступінь; посада, місце роботи; контактні адреси й телефони; поштова адреса, на яку надсилати примірник збірника
- рецензія на статтю, якщо автором є аспірант без співавторів з вченим ступенем та вченим званням.

Статті, які не відповідають наведеним вимогам, до розгляду не приймаються.

Подані матеріали підлягають додатковому рецензуванню членами редколегії або провідними фахівцями за науковими напрямками, тому можуть бути повернені авторам на доопрацювання.

Остаточне рішення щодо публікації статті приймає редакційна колегія видання.

Відхилений оригінал не повертається.

Оплата здійснюється тільки після підтвердження прийняття статті до друку.

Вартість публікації статті **1100 грн.** Збірник виходить 4 рази на рік щоквартально, в кінці кожного кварталу. Статті необхідно надсилати до 1 числа останнього кварталу (наприклад, якщо збірник виходить в кінці червня, то статті приймаються до 1 червня). Але прийом статей може закінчитись раніше вказаного терміну, якщо буде набрано необхідну кількість сторінок.

Матеріали надсилати за адресою:

Редакція «Сучасне будівництво та архітектура»
Одеська державна академія будівництва та архітектури,
вул. Дідрихсона, 4
м. Одеса, 65029, Україна
Контактна особа: Антонюк Надія Романівна
тел. роб. (048) 70-00-608
e-mail: visnuk_odaba@ogasa.org.ua
Сайт збірника: <http://visnyk-odaba.org.ua/>

Платіжні реквізити:

Центр НТТМ по АБ, код **21028281**,
МФО **320478**, Р/р **UA 10320478000026009924861812** в ПАТ АБ «Укргазбанк»,
Призначення платежу: «Сучасне будівництво та архітектура, ПІБ першого автора»

Просимо після відправлення матеріалів обов'язково зателефонувати або зв'язатися електронною поштою, щоб упевнитися в отриманні матеріалів та рішенні редакційної колегії щодо публікації статті.

Наукове видання

СУЧАСНЕ БУДІВНИЦТВО ТА АРХІТЕКТУРА

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

**Випуск № 9
вересень 2024**

Головний редактор *Вировой В.М.*
Технічний редактор *Антонюк Н.Р.*

Підписано до друку 30.09.2024 р.
Формат 60×84/8. Папір офсетний. Гарнітура Times.
Цифровий друк. Ум.-друк. арк. 14,6.
Наклад 100 прим. Зам. №20-29Е

Видавець і виготовлювач:
Одеська державна академія будівництва та архітектури
Свідоцтво ДК № 4515 від 01.04.2013 р.
Україна, 65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона, 4.
тел. (048) 729-85-34, e-mail: rio@ogasa.org.ua

Надруковано в авторській редакції з готового оригінал-макету
в редакційно-видавничому відділі ОДАБА